LEITFADEN

des

RÖNTGEN-

VERFAHRENS.

Herausgegeben von

Ingenieur Friedrich Dessauer und Dr. med. B. Wiesner

Mit 69 Abbildungen

Harvard Medical Library
in the Francis A. Countway
Library of Medicine ~ *Boston*

VERITATEM PER MEDICINAM QUÆRAMUS

Digitized by the Internet Archive
in 2011 with funding from
Open Knowledge Commons and Harvard Medical School

http://www.archive.org/details/leitfadendesrntg00dess

MAY 24 1904

LEITFADEN

des

RÖNTGEN-

VERFAHRENS

Unter Mitarbeit von

Professor Dr. **Hildebrand**, Marburg, Geh. Medizinalrat Prof. Dr. **A. Hoffa**, Berlin, Professor Dr. **A. Hoffmann**, Düsseldorf, Dr. **Guido Holzknecht**, Wien, Privatdozent Dr. **Heinrich Kraft**, Strassburg, Dr. **H. Metzner**, Dessau, Dr. **Carl Mohilla**, Wien, Dr. **Strebel**, München

herausgegeben von

Ingenieur **Friedrich Dessauer** und Dr. med. **B. Wiesner**
Aschaffenburg. Aschaffenburg.

Mit 69 Abbildungen.

Berlin S.W. 11
Verlag von Vogel & Kreienbrink
1903.

Alle Rechte vorbehalten.

Inhaltsverzeichnis.

Seite

Vorwort 5
Zur Einführung 9

I.

Physikalischer Teil.

Die physikalischen Grundlagen des Röntgen-Verfahrens (Ingenieur Friedrich Dessauer).
A. Vom elektrischen Strom und seinen Eigenschaften 13
B. Von den Wirkungen der Ströme, insbesondere von der Induktion 25
C. Die Röntgenstrahlen und das Induktions-Gesetz . 43
D. Die Vorgänge in der Röntgenröhre 64

II.

Technischer Teil.

1. Kapitel. Technische Winke zur Ausübung des Röntgenverfahrens (Privatdozent Dr. H. Kraft und F. Dessauer) 79
A. Ueber die zur Erzeugung der X-Strahlen dienenden Vorrichtungen 83
B. Die Wiedergabeverfahren (Durchleuchtung und Photographie) 117
2. Kapitel. Ueber das Blendenverfahren (Dr. B. Wiesner) 127
3. Kapitel. Ueber Orthodiagraphie. (Prof. Dr. A. Hoffmann) 142
4. Kapitel. Ueber Stereoskopie im Röntgenverfahren (Prof. Dr. Hildebrand) 156
5. Kapitel. Ueber transportable Röntgenapparate (Dr. Metzner) 171

III.

Medizinischer Teil.

1. Kapitel. Das Röntgen-Verfahren in der inneren Medizin (Dr. G. Holzknecht) 183

2. Kapitel. Die radiographische Aufnahmetechnik der Extremitäten (Dr. Karl Mohilla) . . . 192

3. Kapitel. Das Röntgen-Verfahren in der Chirurgie (Geh. Med.-Rat Prof. Dr. Hoffa) 215

4. Kapitel. Die Radio-Therapie (Dr. Strebel) 271

Anhang. Das photographische Verfahren (Friedr. Dessauer) 288

Sachregister 297

Vorwort.

Das Röntgenverfahren ist eine Hilfsdisziplin von hervorragender Bedeutung geworden und ist in Gegenwart und Zukunft berufen, eine grosse und immer grössere Anwendung zu finden, —

Anwendung vor allen Dingen in der Klinik des Chirurgen, des Internisten und des Dermatologen, allgemeine Anwendung aber auch in der grossen Praxis, beim vielbeschäftigten praktischen Arzt, auf dem Lande, wie in der Stadt.

Dieser Entwicklung, der immer allgemeineren Anwendung des Verfahrens steuern wir entgegen mit Bewusstsein, aber auch mit der Einsicht, dass noch manche Arbeit bis dahin geleistet werden muss, —

Arbeit in medizinischer Beziehung: denn noch nicht sind alle Anwendungsgebiete bis zur Grenze untersucht und durchforscht; Arbeit in physikalischer und technischer Beziehung: denn trotzdem hier sehr vieles geschehen und die Instrumente bis zu einem Grade der Vollendung ausgebaut sind, der für die nächste Zukunft nicht auf ganz tiefgreifende Vervollkommnung hoffen lässt, so sind immer noch einzelne Gebiete nicht völlig aufgehellt und manche Hilfs-Methoden ausbaufähig;

Arbeit endlich in lehrender, aufklärender Beziehung, und hier soll das vorliegende Buch seine Aufgabe erfüllen. Denn hier liegt der Schwerpunkt der Entwicklung. Das

Röntgenverfahren zwingt den Arzt, sich mit electrophysikalischen Detailkenntnissen zu befassen, die ihm durchaus fern lagen. Wenig heimisch in diesem fremden Gebiet, war er selbst oft nicht genügend urteilsfähig, auf das Vertrauen den technischen Instituten, seinen Lieferanten gegenüber angewiesen. Wie viele Missstände, beabsichtigte und unbeabsichtigte Täuschungen dies im Gefolge hatte, wie viele Misserfolge es zeitigte, wie viele falsche Urteile daraus hervorgingen und wie unendlich Viele durch diese Unsicherheit von der Benutzung der Röntgen-Methode abgehalten wurden, wissen alle, die in den letzten Jahren der Entwicklung dieser Disziplin auch nur einige Aufmerksamkeit zugewendet haben. Aber noch mehr: selbst in den Aerztekreisen, die auf dem Gebiete arbeiteten, war die Unmöglichkeit sich mit den electrophysikalischen Methoden theoretisch und praktisch genügend von Grund auf vertraut zu machen, schwer fühlbar, und diese Unmöglichkeit machte sich in der Litteratur sehr bemerkbar. So finden wir in der Röntgenlitteratur eine ausserordentliche Unsicherheit und schwere, weitverbreitete Irrtümer in den technischen Angaben und Folgerungen. So konnte es u. a. geschehen, dass in dieser Beziehung die schwersten, gegen elementare Gesetze verstossenden Irrtümer in dem physikalischen Teile einer ganz neuen litterarischen Erscheinung gelehrt werden. Und durch die Uebertragung dieser Irrtümer und ihre oft unwidersprochene, häufig wiederholte litterarische Niederlegung musste die Unsicherheit wachsen und daraus ein Zustand konsequenten Misstrauens gegenüber jeder, auch noch so ernst gemeinten Technikerarbeit resultieren, das für die Betroffenen peinlich und lähmend, das für die ganze Entwicklung äusserst hinderlich war. Darum gilt es zunächst und vor allem, die Orientierungsmittel und Orientierungsmöglichkeit für die Aerzte zu verbessern. Hier wollen wir einsetzen. Die technischen Informationsquellen waren bis jetzt zumeist die Kataloge der Firmen, die bei aller Anerkennung ihrer wertvollen Beiträge doch naturgemäss einseitig sein mussten

und waren. Einseitig und minder wertvoll mussten auch diejenigen Bücher bleiben, die Figuren und technischen Text aus diesen Katalogen, manchmal mit recht geringer Ueberarbeitung, entnahmen. Ein gutes Buch erschien von Dr. Gocht gleich zu Anfang der Entwicklung. Es ist leider veraltet. Ein anerkennenswertes erschöpfendes Werk über das Spezialgebiet der Radiotherapie schrieb in letzter Zeit Freund. Aber mit Ausnahme des letzteren empfehlenswerten Werkes waren die Quellen für den Arzt fast durchweg minderwertig. Sie gaben vor allem nicht das, was die Voraussetzung für alles bewusste, kritische und selbstkritische Arbeiten ist, eine Darstellung aller grundlegenden physikalischen Erkenntnisse und Gesetze, die feststehend sind in der Physik und die für die Vorgänge im Apparate, für die Konstruktion, Beurteilung und Handhabung massgebend sind. Eine solche Orientierungsmöglichkeit existiert zur Zeit praktisch nicht.

Das versuchen wir vor allem zu geben: Eine fachmännische, kurze aber möglichst erschöpfende zusammenhängende Darstellung der physikalischen Gesetze des Röntgenverfahrens und der technischen Gesetze des Apparates, damit der Ausübende selbständig sehen, taxieren und richten lernt, in der Lage ist, mit vollem Bewusstsein der Herrschaft über die physikalischen Ereignisse an seinen Apparat zu gehen.

Dann wollten wir — denn das Buch soll für die Methode werben — einen Ueberblick über das Gebiet des Erreichten geben und dabei überall das Wesentliche, Feststehende bringen, das Zweifelhafte, Strittige, wie es sich für einen Leitfaden geziemt, bei Seite lassen.

Wir wollen dem Anfänger eine möglichst ausreichende Anleitung geben, zuvörderst ihm zeigen, was er in seiner Disziplin von der Methode zu erwarten hat und dann, wie er es machen muss, damit er es erreicht. So sollte der Leitfaden klären und lehren, ohne allzusehr ins Detail zu gehen.

Niemals aber wären wir so weit gekommen, auch nur einen Teil unserer hochgespannten Wünsche verwirklicht zu sehen, hätten nicht hervorragende Autoren der einzelnen Gebiete sich zur Mitarbeit gefunden. Ihnen sei im Interesse der guten Sache von ganzem Herzen auch an dieser Stelle gedankt.

Und so geben wir das Buch heraus in der Hoffnung, dass es der Röntgenmethode nützen möge, indem es klärt und lehrt und das gegenseitige Zusammenarbeiten fördert auf diesem Grenzgebiet, das Zusammenarbeiten von Technik und Medizin.

Ueber alle Fragen des Verfahrens stellen die Herausgeber gern ihren Rat zur Verfügung, denn es ist ja unmöglich, alle Fälle oder nur den grösseren Teil im Rahmen eines Leitfadens in Betracht zu ziehen.

Für freundliche Beihilfe bei den schwierigen Correkturen der ersten Teile und Anfertigung der Figuren danken wir Herrn Dozent-Ingenier Glatz, Herrn Oberingenieur Goetze und den Herren Hofmann und Häring bestens.

Aschaffenburg, den 1. Oktober 1903.

Die Herausgeber.

Zur Einführung.

Will der Anfänger vor Enttäuschungen bewahrt bleiben, so ist vor Wahl und Benutzung der Apparate eine gute Orientierung in den einschlägigen Kapiteln der Physik und und Technik notwendig. Es ist oft von sehr viel geringerer Bedeutung, ob jenes mehr oder dieses weniger in Katalogen angepriesene Modell benutzt wird, als der Umstand, dass man über Zweck und Arbeitsweise des Organs orientiert, seine Eigentümlichkeiten herausfindet und es harmonisch in das System einzugliedern weiss.

Darum folgt zunächst ein physikalischer Teil zur Einführung in die Electricitätslehre des Röntgenapparates, die man beherrschen soll. Manches darin wird wohl erst bei Benutzung der Apparate selbst recht in seinen Konsequenzen klar. Die technischen Winke schliessen sich unmittelbar daran an. Streng vermieden ist es, alle die hundert von Konstruktionen, die der Markt schon brachte, auch nur teilweise zu beschreiben oder zu nennen. Dies alles steht in den Katalogen. Dem Leitfaden obliegt es, das Prinzipielle, Wesentliche, Feststehende zu geben. Wir glauben übrigens hoffen zu dürfen, dass dem Leser unseres Leitfadens eine kritische Orientierung in der Fülle des von Seiten der Fabrikanten Gebotenen nicht schwer sein wird.

Dem Blendenverfahren, der wichtigsten und eigentlich unentbehrlichen Hilfsmethode, der das Verfahren seine Bedeutung in der inneren Medizin zum grossen Teile verdankt, ist ein eigenes Kapitel gewidmet. Das Kapitel über Orthodiagraphie bietet dem Herzspezialisten eine Orientierung über die Bedeutung und Anwendung des Röntgenverfahrens in

seinem Felde, während die Arbeit über stereoskopische Röntgen-Aufnahmen die Aufmerksamkeit auf dieses neue, in der Entwicklung begriffene Hilfsverfahren der Radiologie lenken soll. Mit der zunehmenden Einführung des Verfahrens in die medizinische Praxis nimmt die Bedeutung des transportablen Apparates zu und es hat sich eine eigene Technik dieser Apparate herausgebildet, deren Bedeutung wir im 5. Kapitel des II. Teiles gerecht zu werden suchten.

Im medizinischen Teile trennen sich die Anwendungen des Verfahrens in die drei grossen Gruppen: Innere Medizin, Chirurgie und Therapie. Für den Spezialisten der inneren Medizin existieren treffliche Spezialwerke, so dass dieses Gebiet kurz, durch Schilderung der charakteristischsten und wichtigsten Anwendungen, behandelt werden konnte. In Ergänzung der Hoffa'schen Arbeit glaubten wir es angemessen, noch vorher auf die Technik der Extremität-Aufnahmen ganz besonders eingehen zu müssen, denn diese Verhältnisse werden ja hauptsächlich dem Anfänger und dann dem praktischen Arzte, der sich ja immer mehr dem Verfahren zuwendet, wichtig sein und auch als Anleitung für die Orientierung in den übrigen Gebieten gute Dienste leisten.

Die Radiotherapie ist über das Stadium des angezweifelten und nicht ungefährlichen Versuches hinaus — insbesondere nachdem durch Holzknecht eine exakte Dosierungsmethode geschaffen wurde. Ihrer wachsenden und jetzt schon ganz eminenten Bedeutung trägt die Arbeit des 3. Teiles Rechnung.

I.

PHYSIKALISCHER TEIL.

Die physikalischen Grundlagen des Röntgenverfahrens.

Von

Ingenieur Friedrich Dessauer.

A.

Vom electrischen Strom und seinen Eigenschaften.

Im Nachfolgenden sollen kurz die für die Konstruktion, das Verständnis und den Gebrauch des Röntgenapparates wichtigsten Begriffe gegeben, zusammengestellt und in ihrer Abhängigkeit von einander erläutert werden.

Die Electricität betrachten wir bei ihrem Auftreten entweder als Eigenschaft eines Körpers oder als Arbeit verrichtende, in stetem Entstehen und Wandel begriffene Energieform. Electricität, die, einem Körper mitgeteilt, ihm eigentümlich ist, nennen wir statisch, den Körper selbst mit statischer Electricität geladen. 1) statische Electricität

Die statische Elektrizität ist an den geladenen Körper gebunden und tritt als seine Eigenschaft dadurch hervor, dass andere geladene Körper von ihm abgestossen oder angezogen werden, und dass er seine Ladung anderen Körpern mitteilen kann, wobei sie abnimmt. Aus der Aeusserung anziehender und abstossender Kraft der electrischen Ladung ergiebt sich eine Verschiedenartigkeit derselben, die auf ihre Erzeugungsweise zurückgeführt wird. Ist die electrische Ladung durch Reibung eines Glasstabes z. B. entstanden, so heisst sie positiv, ist sie durch Reibung eines Schwefelstückes erzeugt worden, so heisst sie negativ. Gleichartig geladene Körper stossen sich ab, ungleichartig geladene ziehen sich an.

2) Electro-Dynamik.

Anders fassen wir die Electricität, wenn sie durch eine Quelle konstant erzeugt, durch Körper fortgeleitet und zu einer Arbeitsleistung verbraucht wird. Dann abstrahieren wir von den Körpern, die nur als Fortleiter in Betracht kommen, und betrachten die Eigenschaften des electrischen Stromes als solchen.

Der electrische Strom ist eine Arbeitsform, die in verschiedener Beziehung variationsfähig ist. Die Ursache des electrischen Stromes ist seine Spannung. Zwei Punkte unterscheiden sich hinsichtlich ihrer electrischen Eigenschaft, sie sind electrisch ungleichwertig, sie besitzen verschiedenes „Potential". Ihre Wertigkeit wird aber durch irgend eine Ursache konstant erhalten. Der Punkt höheren Potentials sucht dem Punkte niederen Potentials Electricität mitzuteilen und, wenn eine leitende Verbindung beider Punkte besteht, so fliesst electrischer Strom vom Punkte höheren Potentials zum Punkte niederen Potentials. Die Ursache des Stromes ist also der (konstante) Potentialunterschied (Potentialdifferenz) zwischen beiden Punkten, die dadurch hervorgerufene Ausgleichungstendenz, die wir electrische Spannung nennen.

3) Eigenschaften des Stromes.

Die Spannung, vermöge welcher der Strom vom Punkte höheren zum Punkte niederen Potentials fliesst, kann verschieden gross sein, gemäss der Grösse ihrer Ursache, der Potentialdifferenz. Die Spannung eines Stromes fassen wir als eine Eigenschaft desselben und messen sie durch die Einheit Volt.

Beispiele: Entnehmen wir Strom aus einer Accumulatorenzelle, so beträgt dessen Spannung 2 Volt. Die Spannung des Stromes unserer üblichen electrischen Beleuchtungsanlagen beträgt 110 bis 220 Volt. Die Spannung des Stromes, der sich bei den Induktoren der Röntgenapparate durch eine Luftstrecke von 15 cm ausgleicht, beträgt schätzungsweise 50 000 Volts.

4) Fortsetzung Stärke des Stromes und Eigenschaften des Stromweges. Ohmsches Gesetz.

Bei gegebenem Wege entsteht infolge der Spannung ein Strom. Die Grösse oder Stärke dieses Stromes ist abhängig von der Höhe der Spannung, der treibenden Voltzahl, sie ist ferner abhängig von der Art der Stromwege, der stromleitenden Verbindung zwischen den Punkten.

Die Qualität des Stromweges kann verschieden sein, je nach dem Material, der Dicke und Länge des Leiters. Gemäss der Materialbeschaffenheit und den Ausmessungen der Verbindung können wir von einem Widerstande derselben reden. Je dicker und kürzer die leitende Verbindung ist, desto weniger Widerstand bietet sie dem Strome. Die Grösse dieses Widerstandes wird durch die Einheit Ohm (Ω) gemessen.

Beispiele: Eine Quecksilbersäule von 106,3 cm Länge und 1 qmm Stärke besitzt einen Widerstand von 1 Ω. Die Primärspule des Induktoriums unserer Röntgenapparate besitzt etwa $2^1/_2$ bis $^1/_2$ Ω. Die Sekundärspule, welche aus sehr vielen Windungen eines äusserst feinen Drahtes besteht, besitzt etwa 15 000 bis 60 000, eine Glühlampe von 16 Kerzen bei 110 Volt besitzt ca. 220 Ω.

Die Stärke oder Intensität eines Stromes ist demgemäss um so beträchtlicher, je höher seine Spannung ist und je geringer der Widerstand ist, den der Stromweg bietet. Die Einheit der Stromstärke ist das Ampère. Die Zahl der Ampère ist also um so grösser, je grösser die Voltzahl und je geringer die Ohmzahl ist; $A = \frac{V}{O}$ Ohmsches Gesetz.

Beispiele: Der Strom einer 16 kerzigen Glühlampe bei 110 Volt ist $^1/_2$ Amp., der Strom eines Platinkauters ca 10—25 Ampère, der Strom bei der Galvanisation ist ca. 5- bis 10 tausendel Amp. (Milliampère) stark, weil der Widerstand des menschlichen Körpers sehr gross ist, ebenso zählt die Stärke des Stromes eines Inductors für Röntgenzwecke nach Milliampères, ja nach Bruchteilen von solchen.

5) Die Materialien.

Der Widerstand verschiedener Materialien ist verschieden. Er ist also abhängig von einem Materialwerte (einer Material constanten), den man spezifischen Widerstand nennt; der reziproke Wert des spezifischen Widerstandes heisst „electrisches Leitvermögen“. Das electrische Leitvermögen des Silbers ist sehr gross, es folgen in abnehmender Reihenfolge Kupfer, Aluminium, Messing, Zink, Zinn, Eisen, Neusilber, Nickel, Stahl, Blei, Quecksilber. Der Widerstand, der dem Kupfer eigen ist, der „spezifische“ Widerstand des Kupfers, ist ungefähr der 15. Teil des spezifischen Widerstandes von Blei, der spezifische Widerstand des Quecksilbers ist noch $4^1/_2$ mal grösser, als der des Bleies.

Die genannten Körper besitzen sämtlich das Vermögen, den electrischen Strom zu leiten. Andere Körper haben dieses Vermögen nicht, oder besser, ihr Widerstand ist so gross, dass man sie Nichtleiter oder Isolatoren nennt. Solche sind Glas, Glimmer, Ebonit, Paraffin, Kolophonium. Der spezifische Widerstand des vulkanisierten Kautschucks ist mehrere Milliarden mal grösser, als der des Quecksilbers. Die Electricitätsmengen, die durch vulkanisierten Kautschuck auch bei sehr hohen Spannungen hindurchgehen, sind infolgedessen so gering, dass man sie gleich 0 setzt. Zwischen den guten Leitern und den Isolatoren stehen Verbindungsglieder. Nahe den guten Leitern oder Leitern erster Klasse stehen die Leiter

zweiter Klasse, die Electrolyte. Es sind dies Lösungen der Salze. Säuren und Basen. Ihr Widerstand ist von Ihrer Konzentration abhängig. Ferner giebt es sogenannte Halbleiter, die besser als minderwertige Isolatoren bezeichnet werden:

Feuchte Luft, feuchtes Holz, feuchtes Papier.

6) Beispiel eines konstanten Stromlaufs.

Als Beleg für unsere Entwicklung des electrischen Stromes benutzen wir das Beispiel einer Accumulatorenzelle, die aus einer Platte von Bleisuperoxyd und einer solchen aus Bleischwamm, in verdünnte Schwefelsäure eingetaucht, besteht. Aus Gründen chemischer Art besitzt die Superoxydplatte bei der Berührung mit Schwefelsäure ein anderes Potential, als die Bleiplatte, die beiden Platten sind also Punkte verschiedenen Potentials. Werden die Platten durch einen Stromleiter verbunden, so kommt durch die Potentialdifferenz ein Strom zu Stande, der die Spannung 2 Volt besitzt. Dieser Strom fliesst vom Punkte höheren Potentials, der Superoxydplatte, zum Punkte niederen Potentials. Der Punkt höheren Potentials wird + Pol, der andere — Pol genannt, obwohl wir es hier nicht eigentlich mit einem Gegensatz, sondern nur mit einer Wertigkeitsdifferenz zu thun haben. Gelangt nun Strom vom Pluspol zum Minuspol, so müsste der erstere von seinem höheren Potential eigentlich dem anderen mitteilen und die Potentiale müssten gleich werden. Da aber die geförderte Electricitätsmenge sofort dazu verwendet wird, aus Bleischwamm Bleioxyd zu machen, so bleiben die Potentiale (vergl. 2) konstant, so lange noch etwas Bleischwamm da ist. Gleichzeitig verwandelt sich die (+) Platte aus Bleisuperoxyd in Bleioxyd und bewahrt ihre electr. Wertigkeit, solange sie nicht ganz verwandelt ist. Infolgedessen bleibt die Potentialdifferenz konstant und es kommt (statt eines einmaligen Ausgleiches) ein konstanter Strom zu Stande.

a) Ursache.

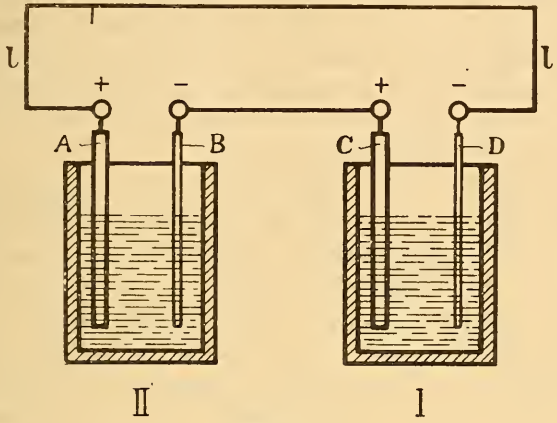
Die Stärke dieses Stromes hängt ab von der Spannung 2 Volt und von dem Widerstande des verbindenden Leiters. Ist der Widerstand dieses Leiters sehr klein, so wird die Ampèrezahl sehr gross (Kurzschluss) und die Reaktion im Accumulator wird so stürmisch, dass er dabei zu Grunde geht.

b) Stärke.

Die Stärke des Stromes bei einer Accumulatorenzelle und die Zeitdauer, durch die er konstant bleibt, ist um so grösser, je grösser die Bleimenge ist, die in Bleioxyd oxdiert, und die Superoxydmenge, die in Oxyd reduziert werden muss. Das Produkt aus Stromstärke und Zeit, während welcher der Accumulator sie leistet, ist dessen Capacität. Die Capacität hängt also ab von der Anzahl und Grösse der positiven und negativen Bleiplatten und von der Menge Bleischwamm bezw. Bleisuperoxyd, die sie enthalten.

Hat man 2 oder mehrere Accumulatorenzellen und verbindet die positiven Pole einerseits, die negativen andererseits untereinander, so kann der Strom so lange fliessen, bis die chemische Reaktion in allen Zellen vollendet ist. Es addieren sich also die Capacitäten.

Diese Art von Verbindung der Zellen untereinander heisst Parallelschaltung. Verbindet man bei zwei solcher Accumulatorenzellen den Pluspol der einen mit dem Minuspol der anderen Zelle, so fliesst zwischen den beiden kein Strom. Denn es ist keine Ursache da, keine Potentialdifferenz, weil die Bleiplatten nicht zusammen in einen Electrolyten tauschen. Dagegen hat der Pol A der Zelle II



Figur 1.

einen Potentialunterschied (2) gegen den Pol B, und weil dieser mit C verbunden ist, auch gegen diesen. Der Pol D der Zelle I hat eine Potentialdifferenz gegen C (2), und weil C mit B verbunden ist, auch mit B. Zwischen A und D ist also eine Potentialdifferenz 2+2=4. Wird der Strom zwischen A und D übergeleitet durch die Leitungen l, l, so besitzt er eine Spannung von 4 Volt. Diese Art Zellen zu verbinden, zu schalten, nennt man Schaltung auf Spannung oder Serien- oder Hintereinanderschaltung. Hier addieren sich die Spannungen. Gruppen von einer kleineren oder grösseren Anzahl Zellen parallel oder hintereinandergeschaltet, die häufig in transportable Kästen zusammengebaut werden, nennt man Batterien.

c) Vorgang in der Stromquelle. Innerer Widerstand.

Wenn zwischen den Polen eines Elements ein Strom durch einen Leiter fliesst, so vollzieht sich in den Elementen ein chemischer Vorgang als Aequivalent zu dem Strom. Dieser schon beschriebene Vorgang ist nun ein teils electrischer, teils chemischer. Von der negativen Platte wandern sogenannte Jonen (ἰέναι gehen) zur positiven Bleisuperoxydplatte. Es findet also auch hier ein electrischer Stromfluss statt, und zwar durch die Säure hindurch. Die Säure ist die leitende Verbindung zwischen den Platten im Elemente. Die Säure hat auch einen Widerstand, da sie, wie wir wissen, ein Leiter

zweiter Klasse ist. Wenn also der Strom aussen durch einen Leiter von 10 Ω bei einer Spannung von 2 Volt geschlossen wird, so ist die Stromstärke nicht ganz 0,2 Ampère, sondern etwas weniger. Denn zu den 10 Ω kommt noch der Widerstand innen im Element, der sogenannte innere Widerstand. Mag er in diesem Beispiele 0,2 Ω betragen, so ist die Stromstärke nur 0,196 Amp. Der innere Widerstand ist hier so gering, dass er vernachlässigt werden kann. Er ist um so geringer, je grösser der Querschnitt des Leiters, also der Säure, und je kürzer der Leiter ist, also je dichter die Platten aneinander gebaut sind. Wir werden noch Beispiele kennen lernen, wo der innere Widerstand sehr gross ist.

7) Inconstante Ströme.

Die Spannung eines Stromes muss nicht notwendig konstant sein. Dies hängt davon ab, ob die Potentiale der beiden Punkte, zwischen denen der Strom übergeht, gleich bleiben oder sich ändern, sodass die Potentialdifferenz gleichmässig oder wechselnd ist.

8) Eine Vorstellung der Wechselströme.

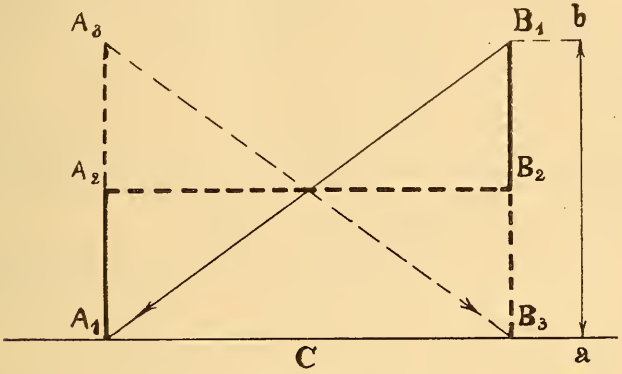
Nehmen wir an, dass das Potential des Punktes von niedriger Wertigkeit wächst, das des andern Punktes abnimmt, so wird die Potentialdifferenz der Punkte und die Spannung des Stromes immer kleiner, ja gleich Null. In diesem Momente fliesst kein Strom mehr, weil die Ursache wegfällt (siehe 2). Das Wachsen und Abnehmen der Potentiale steige über diesen Punkt hinaus. Da der Strom immer in der Richtung von dem Punkte höherer Wertigkeit zum Punkte minderer Wertigkeit fliesst, so kehrt er seine Richtung um, er wechselt. Die Spannung des Stromes steigt jetzt wieder, bis das Potential des einen Punktes zu einem Maximum gewachsen, das des andern zu einem Minimum gefallen ist. Sind Maximum und Minimum konstant, und ist die Geschwindigkeit der Potentialänderung eine gleichmässige, so haben wir einen einfachen Wechselstrom vor uns.

Die Variation der Spannung des gewöhnlichen Wechselstromes stellt sich in einer Kurve sehr einfach dar.

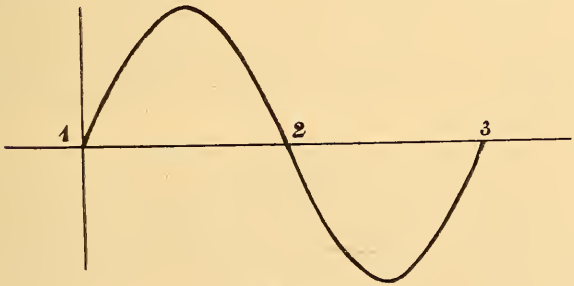
Die Punkte, zwischen denen der Strom fliesst (Pole), sind A, B. Die Höhe ihres Potentials ist durch den Abstand von der Grundlinie C gegeben. Sie nehmen zunächst die Stellungen A_1 B_1 ein. Der Strom fliesst in der Richtung $B_1 \rightarrow A_1$ gemäss dem Pfeil, seine Spannung ist gleich der Strecke a b, der Höhendifferenz, d. i. dem Potentialunterschied.

Das Potential des Punktes A nimmt zu, das des Punktes B ab. Der Strom behält wohl seine Richtung, seine Spannung indessen nimmt ab, wie es die Kurve (Fig. 3) zeigt. Sind die Potentiale in der

Stellung A_2 B_2, also auf gleicher Potentiallinie, angelangt, so besteht eine Wertigkeitsdifferenz nicht mehr. Die Spannung ist äqual O. Beim weiteren Wachsen besitzt Punkt A höheres Potential und infolge der Spannung fliesst der Strom in der Richtung A → B. Die Spannung steigt, aber, wie die Kurve andeutet, in umgekehrter Richtung. Sie erreicht wieder ein Maximum in der Stellung A_3 B_3. Dann wiederholt sich das Spiel.



Figur 2.



Figur 3.

In dem Augenblicke, wo wir die Potentiale der Punkte A und B als inkonstant annehmen, ergiebt sich eine neue Gruppe von Eigenschaften des electrischen Stromes; er unterscheidet sich nicht nur hinsichtlich Stärke und Spannung, sondern auch nach der Art und Geschwindigkeit, mit der die Potentiale der Punkte sich ändern. Es wird auch nicht mehr möglich sein, aus der Spannung und dem Widerstand ohne weiteres auf die Stärke des Stromes zu schliessen.

9) Eigenschaften inconstanter Ströme.

Perioden-zahl, Wechselzahl, Frequenz.

Jedesmal, wenn die Potentiale einmal gleich geworden sind, kehrt der Strom einmal in seiner Richtung um. Je nach der Geschwindigkeit, mit der die Potentiale auf und ab schwingen, kann die Zahl dieser Wechsel in der Sekunde verschieden sein. Verschiedene Wechselströme können verschiedene Wechselzahlen haben. Die Wechselzahl ist demnach die Häufigkeit der Ueberschreitung der Null-Linie. Man könnte sie auch Frequenz des Wechselstromes nennen.

Zwischen je 2 solcher Ueberschreitungen der Null-Linie, solchen Wechseln, liegt eine Stromwelle. Verfolgen wir die Spannungskurve, die zwischen dem 1. und 3. Wechsel liegt, so sehen wir den Strom hier alle Spannungen in beiden Richtungen durchlaufen. Bei dem 3. Wechsel geht er wieder in dieselbe Linie, wie nach dem ersten über. Man nennt diesen Kurventeil eine Periode. Eine Periode enthält somit immer 2 Wechsel.

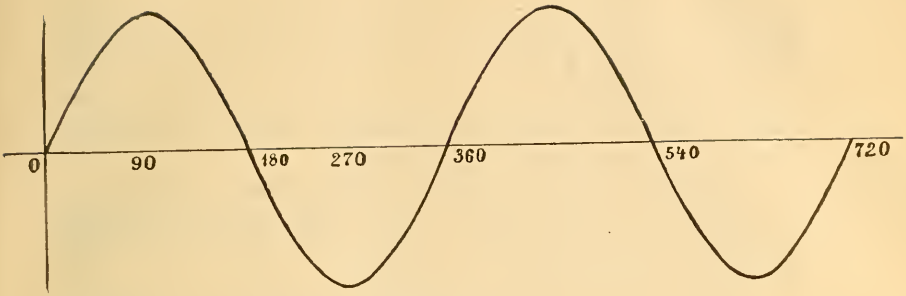
Beispiel: Die Periodenzahl (Zahl der Perioden, in der Sekunde) unserer gewöhnlichen zur Beleuchtung dienenden Wechselströme ist ca. 50. bis 60. Die Zahl der Wechsel ist demnach 100 bis 120. In Amerika geht man in dieser Beziehung viel höher. Dort beträgt die Wechselzahl und Periodenzahl manchmal das Doppelte.

Wenn ein solcher Strom, der immer zwischen zwei Maxima auf und ab schwingt, einer Verbrauchsstelle, z. B. einer Glühlampe, zugeführt wird, so erhält diese eigentlich mehrmals — z. B. 100-mal — in der Sekunde gar keinen Strom und 100 mal einen Stromimpuls. Sie leuchtet also 100 mal in der Sekunde auf. Das Auge sieht aber dennoch ein konstantes Licht, weil der Kohlenfaden in den stromlosen Momenten sich nicht bedeutend abkühlt. Bei Wechselstrom-Bogenlampen kann man das fortwährende Vibrieren des Lichtes schon eher bemerken.

Wenn ein Winkel α von 0 Grad allmählich wächst bis 90°, so wächst der „sinus“ dieses Winkels auch, und zwar von 0 bis 1. Wächst der Winkel α von 90 bis 180°, so nimmt der sinus ab, von 1 bis 0. Wächst der Winkel α über 180° hinaus bis 270°, so nimmt der sinus weiter ab, d. h. er wird negativ bis zur Grösse minus 1. Er nimmt wieder zu bis zu Null, wenn α um weitere 90 Grad, bis 360 Grad wächst, und von da ab wiederholt sich das Spiel, bei 450 Grad ist sinus α = 1, bei 540° = 0 u. s. w.

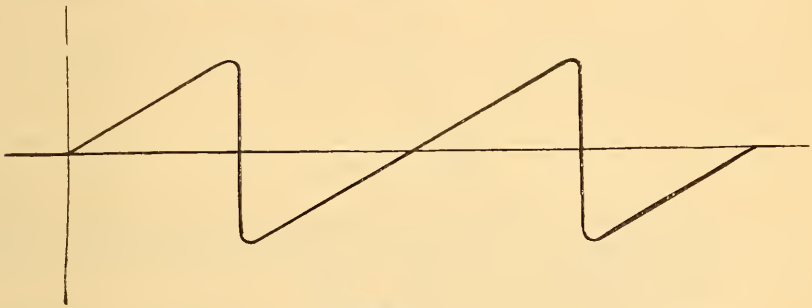
In der Figur 4 ist dies in Form einer Kurve dargestellt. Die Werte des Begriffes sinus α schwanken auf und nieder in Form einer Kurve. Der Wechselstrom, den wir oben kennen lernten, beschrieb bei der Aenderung der Potentiale eine ganz gleiche Kurve. Deshalb wird ein solcher Wechselstrom auch ein sinusoidaler, sinusähnlicher, die Kurve eine sinusoidale, sinusähnliche genannt.

Die Form eines Wechselstromes kann auch durchaus anders sein. Es kann das Ansteigen des Potentials B und das Sinken des



Figur 4.

Potentials A sehr langsam und dann die Umkehrung, das Wachsen von A und das Sinken von B sehr schnell gehen. Dann sind die beiden Periodenhälften ungleich. Der Strom fällt rasch ab und steigt langsam wieder an — etwa gemäss Fig. 5.



Figur 5.

10) Pulsierender Gleichstrom.

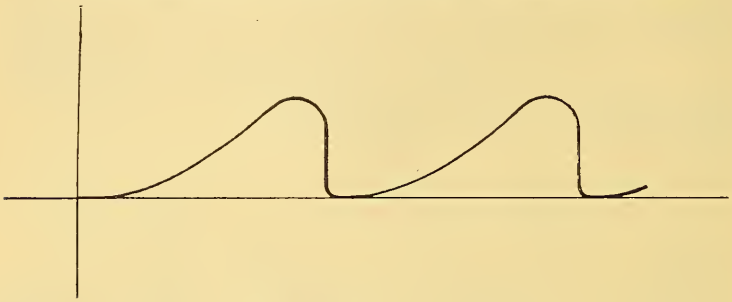
Wenn von den beiden Potentialen nur das eine variabel ist, das andere sich constant erhält, so kann der hierdurch entstehende Strom wieder anders geartet sein. Wir wollen von den verschiedenen Möglichkeiten eine herausgreifen. Der Punkt A sei ein Punkt der Erde. Man nimmt übereinkunftsgemäss das Potential der Erde gleich Null an. Das Potential B schwankt zwischen 0 und 100 gleichmässig auf und ab. Es entsteht für die Spannung des Stromes jetzt eine Kurve, die ganz ähnlich der ersten ist. Aber eines unterscheidet diesen Strom charakteristisch von dem Wechselstrom, den wir kennen lernten. Die Stromkurve sinkt nie unter die Nullinie hinab, weil das Potential B nie kleiner als das Potential A wird, der Strom also in seiner Richtung nicht wechselt. Dieser Strom ist also kein

eigentlicher Wechselstrom, wenn auch mit ihm eng verwandt. Er ist aber auch kein konstanter Gleichstrom, es ist ein pulsierender Gleichstrom. (Fig. 6.)

Diese Kurve lässt sich gleichfalls auf verschiedene Weise verändern, je nach der Regel, der gemäss das Potential B sich ändert. Eine sehr wichtige Form ist die folgende:

Zuerst ist auch das Potential B äqual Null. Sodann steigt es langsam bis zu einem gewissen Grade, nimmt alsdann zuerst langsam, dann rasch bis O ab. Es bleibt einige Zeit Null und steigt dann wieder in der geschilderten Weise.

Dieser Kurve des intermittierenden Gleichstromes werden wir



Figur 6.

noch des öfteren begegnen. Sie entsteht, wenn ein Strom durch einen sogenannten „Unterbrecher“ regelmässig eingeschaltet, unterbrochen, geschlossen und geöffnet wird.

Alle diese Stromgattungen und ihre Modifikationen haben das Gemeinsame, dass ihre Phase, das heisst ihr momentaner Zustand, sich ändert, und zwar, wie wir bis jetzt gesehen haben, ihre Spannungsphase. Denn alle Kurven bezogen sich auf die Spannungen der Ströme.

11) Die Effectivgrössen.

Die Intensität solcher inkonstanter Ströme, ist natürlich eine andere, wie bei den Gleichströmen.

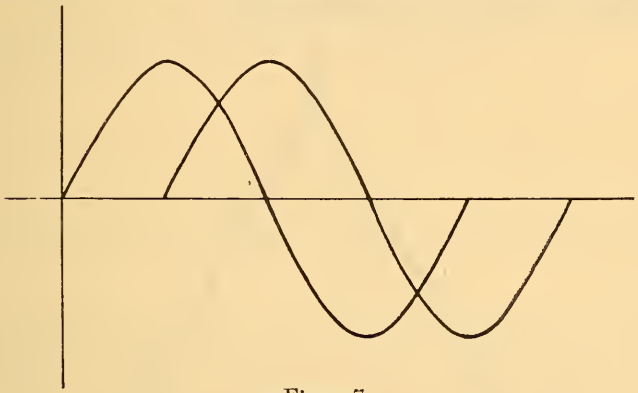
In jedem unendlich kurzen Zeitabschnitte, in dem die Spannung durch die momentane Potentialdifferenz festgelegt ist, entspricht ihr und der Natur des Leiters eine gewisse Stromstärke. Aber in dem folgenden Moment ist die Spannung und mit dieser die Stromstärke eine andere und schwingt zwischen den verschiedenen Werten auf und ab.

Die Grösse eines Wechselstromes bestimmt sich nicht aus den Höchstwerten, den „Amplituden“, seiner Kurve, sondern nach Mittel-

werten, die nach einer bestimmten Formel erhalten werden, der Wertspannung und dem Wertstrom, auch effective Spannung und effektiver Strom genannt. Unsere Messinstrumente für Wechselstrom zeigen diese Werte. Der Vollständigkeit halber soll ohne praktischen Zweck angeführt werden, dass diese effektiven Werte sind: Die Wurzel aus dem arithmetischen Mittel der Quadrate der veränderlichen Grösse während einer Periode.

12) Phasenverschiebung.

Die Stärke des Stromes in jedem Augenblicke entspricht der Spannung in diesem Augenblicke, nach dem Ohm'schen Gesetz. Es gibt indessen Leiter (die wir später genauer studieren werden), bei denen das Anwachsen und Abfallen der Stromstärke infolge Anwachsens und Abfallens der Spannung aufgehalten, verzögert wird. Es entspricht also hier die Stärke des Stromes in einem bestimmten



Figur 7.

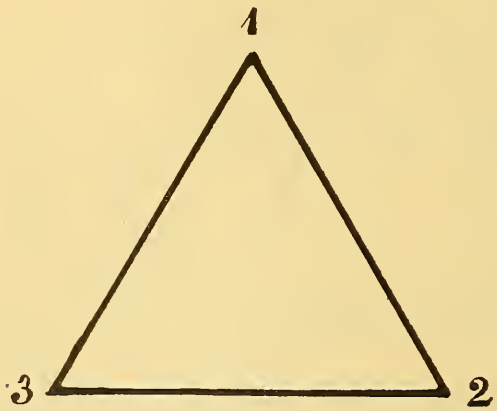
Momente der Spannung des voraufgegangenen Momentes. (Fig. 7.) Die Stromstärke wächst erst, nachdem die Spannung schon vorher gewachsen, und wächst noch, wenn die Spannung schon wieder sinkt. Spannung und Strom kehren nacheinander ihre Richtung um, kurz, sie sind in ihren momentanen Zuständen verschieden. Die Kurve des Stromes besitzt „Phasenverschiebung" gegenüber der Kurve der Spannung.

Sind die Kurven sinusoidal (s. 9), so entsprechen sie den Sinuswerten zweier Winkel, von denen der eine schon eine bestimmte Grösse, sagen wir 45°, erreicht hat, wenn der andere von Null an wächst. Im Verlauf der Kurve bleibt der Sinuswert immer in derselben Weise zurück, weil sein Winkel immer um 45° kleiner ist. Man misst daher in solchem Falle (Fig. 7) die Phasenverschiebung nach

Graden und sagt, die beiden Kurven seien in ihrer Phase um 45° verschoben. Beträgt die Phasenverschiebung 90°, so fängt die Stromkurve gerade von 0 ab an zu wachsen, wenn die Spannung vom Maximum an zu fallen beginnt. Sind sie um 180° verschoben, so erreicht die Spannungskurve ihren positiven Maximalwert, wenn die Stromkurve ihren negativen Maximalwert hat.

13) Mehrphasenströme.

Man kann sich ausser zwei Punkten, deren Potentiale wachsen und abnehmen, auch noch einen dritten und mehrere denken, deren Potentiale auch sich ändern. Ist diese Aenderung so, dass das Potential des Punktes 3 in jedem Momente ein anderes ist, als das von 1 und 2, so muss, eine leitende Verbindung vorausgesetzt, zwischen ihm und den beiden andern auch ein Strom fliessen. Es fliessen 3 Ströme (Fig. 8), und die Kurven sind alle verschoben. Man nennt diese Ströme Mehrphasenströme.



Figur 8.

In der Technik wird der Dreiphasenstrom oder Drehstrom viel verwendet zu Lichtzwecken. Röntgenapparate, die mit Dreiphasenstrom getrieben werden müssen, werden nur an 2 Leitungen angeschlossen und erhalten somit einfachen Wechselstrom. Wir haben uns daher mit Drehstrom nicht zu befassen.

14) Resumé.

In der Electrostatik lernen wir die Electricität kennen als Eigenschaft eines Körpers, in der Electrodynamik betrachten wir sie an und für sich als Strom. Die Spannung des Stromes, seine treibende Energie, hängt ab von dem Potentialunterschiede der Punkte, zwischen denen er fliesst; dieser Stromfluss hängt ab von dem Vorhandensein eines Stromweges, eines Leiters; die Grösse, Stärke, Intensität des

Stromflusses von der Art, der Qualität dieses Stromweges, seinem Leitvermögen (Gegenteil: specifischer Widerstand) und der Grösse der Spannung.

Hiermit sind die vornehmsten Bestimmungstücke des Stromes gegeben, der zwischen Punkten konstanten Potentials übergeht. Sind diese Potentiale aber nicht konstant, sondern ändern sich nach bestimmten Regeln, so entstehen inkonstante Ströme, die Wechselströme sein können, wenn mit der stetigen Aenderung des Potentials auch ein Wechsel in der Richtung der Ströme verbunden ist.

Bei den inkonstanten Strömen ist ausser den genannten Bestimmungsstücken auch die Form des Stromes, seine Kurve, dann die Geschwindigkeit seines Schwingens, seine Perioden- und Wechsel-Zahl (wenn es ein Wechselstrom ist), seine Frequenz (wenn es ein intermittierender Gleichstrom ist) zu betrachten.

B.

Von den Wirkungen der Ströme, insbesondere von der Induktion.

Die Electricität ist eine Energieform, wie Licht und Wärme Energieformen sind. Das Gesetz von der Erhaltung der Arbeit verlangt, dass alles physikalische Werden und Vergehen nur eine Umwandlung der Arbeitsgrössen ist, dass dabei nichts neu hinzukommt, nichts wegfällt, sondern dass die neueintretende, bewirkte Erscheinung, oder die Summe dieser Erscheinungen, der Erzeugenden gleichwertig sei. Es kann daher nicht eine Energieaufzehrung, sondern nur eine Energieumformung geben. So muss bei jedem Stromflusse, bei dem electrische Energie zur Arbeitsleistung herangezogen und aufgebraucht wird, etwas anderes dafür entstehen, und die Wirkung, die neuentstehende Arbeit muss der geleisteten aequivalent sein, sei es nun, dass Wärme oder Licht oder wieder electrische Arbeit das Ergebnis der Umwandlung ist.

15) Gesetz von der Erhaltung der Arbeit.

Eine electrische Stromleistung hängt ab von der Energie des Stromflusses, seiner „Spannung“, von seiner Intensität oder Stärke und endlich von der Zeitdauer, während der er fliesst.

16) Die electrische Arbeitsgrösse Definition.

Die electrische Arbeit

$$A = V \times A \times t \quad (t = \text{Zeit.})$$

Unabhängig von der Zeit nennt man das Produkt der beiden Stromgrössen Volt und Ampère, Voltampère oder Watt, electrischen Stromeffekt. Bei Bemessung von Apparaten, die zur Erzeugung oder zum Verbrauche electrischer Arbeit dienen, ist diese Grösse, die Wattzahl, wichtig.

Wir werden uns hauptsächlich mit Wirkungen der Electricität zu befassen haben, die mit dem Röntgenverfahren in Beziehung stehen.

17) Arbeitsäquivalente.

Zwischen den Punkten A und B von bestimmter, konstanter Potentialdifferenz fliesst ein Strom, konstant in einer Richtung, dessen Spannung gegeben, dessen Stärke demgemäss nur noch von der Beschaffenheit des Leiters abhängt. Ist auch diese gegeben, besitzt er einen bestimmten Widerstand, so resultiert eine bestimmte Stärke des Stromes.

Da fortgesetzt Electricität von dem einen Punkt zum andern fliesst und also die Potentiale der beiden Punkte sich auszugleichen bestrebt sind, so muss, um diese Potentiale konstant und different zu erhalten, irgend eine Arbeit verbraucht werden. Bei unserem oben (6) gewählten Beispiele war es chemische Arbeit, die positive Bleisuperoxydplatte wurde reduziert und solange diese Reduktion analog der Oxydation der negativen vor sich ging, blieb die Potentialdifferenz der Pole, damit die Spannung — abgesehen von kleinen, teilweise durch inneren Widerstand verursachten Schwankungen — konstant.

Diese Stromarbeit, die durch den Leiter zur Auslösung kommt und aufgebraucht wird, muss nun irgendwie wirksam sein. Es muss an ihrer Stelle etwas anderes entstehen.

18 Wärmewirkung des Stromes.

Die häufigste, immer auftretende Wirkung ist die Erwärmung des Leiters. Der Leiter erhitzt sich und zwar der Stromstärke entsprechend. Misst man unter Ausschluss jeder Fehlerquelle die Grösse der entstehenden Wärmearbeit, so ergiebt sich, dass diese genau der aufgewendeten electrischen Arbeit äquivalent ist. Die erzeugte Wärme ist gemäss dem Joule'schen Gesetz proportional dem Quadrate der Stromstärke des Stromes und dem Widerstand des Leiters. Also hängt die Grösse der erzeugten Wärmearbeit wesentlich ab von der Stärke des aufgewendeten Stromes. Da dieser nach dem Ohm'schen Gesetz wieder von der Spannung abhängt, so ist diese indirekt für die entstehende Wärmemenge von Bedeutung.

Beispiel: Man macht von dieser Energieumwandlung Gebrauch bei der electrischen Heizung. Aber auch das electrische Glühlicht beruht auf keinem anderen Gesetz. Der Leiter, ein Kohlenfaden von ziemlich grossem Widerstand im evakuierten Raume wird zur Weiss-

gluth erhitzt, so dass er leuchtend wirkt. Die Summe der entstehenden Wärmearbeit und der in Lichtwellen ausgesendeten ergiebt den Gegenwert für den Strom.

Eine andere Gruppe der Umwandlungserscheinungen sind die chemischen Wirkungen des Stromes, die uns hier zunächst nicht beschäftigen. Wichtiger für uns ist das Gebiet der magnetischen Wirkung.

19) Magnetische Wirkung des Stromes.

Ein stromdurchflossener Draht ist im Stande, Eisenkörper zu magnetisieren. Magnetnadeln werden durch den Strom ebenso abgelenkt, wie durch magnetisches Eisen. Ein Weicheisenkörper wird in der Nähe eines Stromes stets magnetisch. Windet man um einen Eisenstab den electrischen Leiter, so dass der Strom ihn in Form einer Spirale umfliesst, so wird der Eisenstab zum Magneten.

20) Erklärung des Magnetismus und seiner Grundgesetze.

Zur Erklärung und Versinnlichung dieser und einer Reihe anderer Erscheinungen ist ganz allein in der Technik die Vorstellung des magnetischen Kraftlinienfeldes eingeführt.

Ein stabförmiges magnetisches Stahlstück übt auf alle in seiner Umgebung befindlichen magnetisierbaren (paramagnetischen) Körper (Eisen und Eisenlegierungen, Stahl etc.) eine Kraft aus, indem es sie zu bewegen sucht. Solche Kräfte gehen von allen Punkten des Stabmagneten aus, am wenigsten von der Mitte, am stärksten von den Enden, die man Pole nennt. Die Richtungen dieser Kräfte entsprechen den Linien, längs deren die Eisenkörper wandern würden, wenn sie ausserordentlich leicht beweglich wären. Diese Linien verbinden immer 2 Punkte des Magneten miteinander.

21) Kraftlinienzahl.

Die Zahl der richtenden Kräfte ist natürlich unendlich gross, denn man kann durch alle Punkte des den Magneten umgebenden Raumes Richtungslinien legen, indem man sich magnetisierbare Körper in den Punkten denkt. Uebereinkunftsgemäss deutet man durch die Zahl der (gezeichneten oder in Rechnung gebrachten) Kraftlinien die Stärke des magnetischen Kraftfeldes in den einzelnen Fällen an. Die Kraftlinien durchziehen das Feld in geschlossenen Kurven. Ihre Richtung giebt die Richtung der Kraft, ihre Dichte die magnetische Feldstärke an. (Grawinkel und Strecker „Hilfsbuch für die Electrotechnik“.)

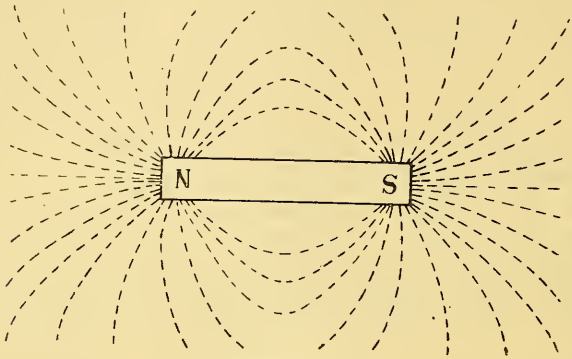
Ein Bild des magnetischen Kraftfeldes um einen stabförmigen Magneten giebt Fig. 9.

22) Magnetische Polarität.

Dass eine bewegende Wirkung zwischen Punkten des Magneten, insbesondere zwischen den am entferntesten liegenden, den Polen, besteht, hat zur notwendigen Voraussetzung, dass ein Zustands-

unterschied zwischen denselben vorhanden ist. Dieser Unterschied ist der Polaritätsunterschied. Man nennt den einen Pol des Magneten Nordpol, den anderen Südpol. Diese Unterscheidung hat ihre Berechtigung dadurch, dass ein freischwebend aufgehängter Magnet sich in einer mit der Nord-Südrichtung einigermassen übereinstimmenden Richtung einstellt, und immer der gleiche Pol nach Norden bezw. nach Süden zeigt. Die gleichnamigen Pole zweier Magnete stossen sich ab, ungleichnamige ziehen sich an.

Ein experimentelles Bild über den Verlauf der Kraftlinien, den obigen Ausführungen gemäss, kann man sich machen, indem man



Figur 9.

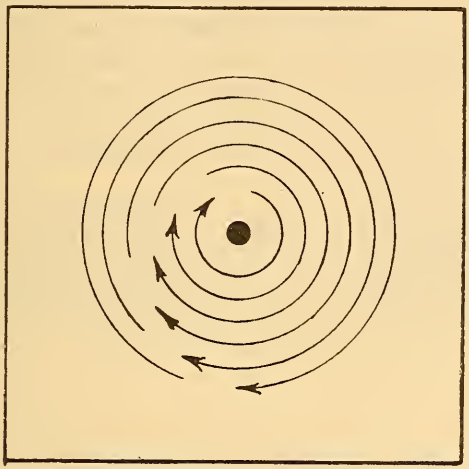
ganz feines Eisenfeilicht auf ein Papierblatt über einen Magneten streut und vorsichtig die Unterlage durch leichtes Klopfen erschüttert. Durch das Klopfen wird der Reibungswiderstand der Feilspäne auf der Unterlage jeweils einen Augenblick aufgehoben, und die Teilchen ordnen sich im Grossen und Ganzen recht gut dem Verlaufe und der Dichtigkeit der magnetischen Kraftlinien entsprechend.

23) Strom und Kraftfeld.

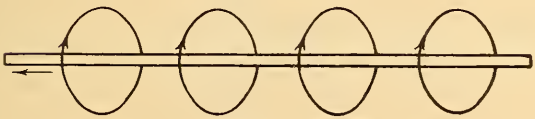
Ebenfalls ein Kraftfeld bringt ein jeder fliessende Strom hervor, auch er zieht benachbarte Eisenteile an. Die Anordnung der Kraftlinien um einen geradegestreckten, stromdurchflossenen Leiter ist die von Kreisringen, die den Leiter concentrisch umgeben.

Windet man nun einen solchen Leiter spiralig auf und stellt sich dabei vor, wie an jeder Stelle des Drahtes die Kraftlinien nach allen Richtungen ausgehen, so kommt man zu einem Kraftlinienbilde, das dem eines gestreckten Magneten vollkommen ähnlich sieht. In der That zeigt eine solche stromdurchflossene Drahtspirale alle Eigenschaften eines Stabmagneten, seine an den Enden zunehmende Anziehungskraft, seine Polarität.

Die magnetische Wirkung des stromdurchflossenen Leiters und des permanenten Magneten ist also auf magnetisierbare Körper die gleiche. In der That lassen sich hinsichtlich des stromdurchflossenen Leiters dieselben Gesetze aufstellen, wie für den Magneten. Es folgt daraus, dass zwischen 2 stromdurchflossenen spiraligen Leitern genau dieselben Beziehungen bestehen, wie zwischen 2 Stabmagneten, und dass einer derselben ohne Störung der Beziehungen durch einen Stabmagneten ersetzt werden kann.



Figur 10.



Figur 11.

Eine stromdurchflossene Drahtspirale hat demgemäss 2 magnetische Pole. Um die Lage der Pole zu bestimmen, hält man die rechte Hand so, dass der Strom bei der Handwurzel ein und bei den Fingerspitzen austritt und kehrt dabei die Handfläche gegen die Achse des Solenoids; dann giebt der ausgestreckte Daumen die Lage des Nordpoles an. (Rechte Handregel.)

Die gleichen Pole zweier Stromspiralen stossen sich ab, ungleiche ziehen sich an. Ebenso stösst der Nordpol einer Stromspirale, die man auch Solenoid nennt, den Nordpol eines Magneten ab, zieht dessen Südpol an.

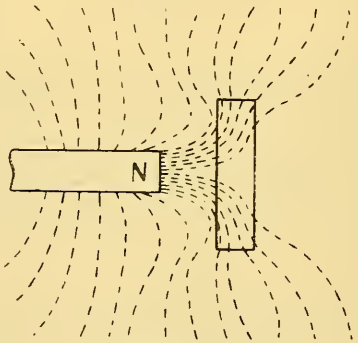
24) Ablenkung und Verdichtung der Kraftlinien; Magnetisierung durch Induktion.

Der Verlauf der Kraftlinien, wie er oben dargestellt wurde, wird gestört, wenn ein magnetisierbarer Körper im Kraftfelde sich befindet. (Fig. 12.) Es gehen durch diesen Körper (z. B. Eisenstückchen) mehr Kraftlinien, als durch die von ihm verdrängte Luft. Wenn magnetisierbare Körper von Kraftlinien durchflossen werden, so werden sie gleichfalls magnetisch und erzeugen um sich her ein Kraftfeld. (Magnetische Induktion). Die Stärke des durch Induktion erzeugten Magnetismus hängt ab von der Stärke des Feldes, in dem der Körper liegt (also von der magnetischen Kraft des ersten Magneten, der Entfernung von ihm und seinen Polen), von der Grösse und dem Material des Körpers.

25) Magnetische Wirkung und Kraftlinienzahl.

Ganz allgemein kann man sagen, dass die magnetische Wirkung — Anziehung, Abstossung, Magnetisierung — um so grösser ist, je mehr Kraftlinien durch den Körper, der angezogen oder abgestossen oder magnetisiert wird, gehen.

Die magnetisierbaren Körper unterscheiden sich hinsichtlich ihrer magnetischen Eigenschaften, wie folgt. Eisen wird durch jeden Magneten angezogen, unabhängig davon, welcher Pol genähert wird. Solange Kraftlinien Eisen passieren, ist es selbst magnetisch und seine Pole liegen ganz dem Durchgang der Kraftlinien entsprechend. Wird es aus dem Kraftfeld entfernt, so verliert es den

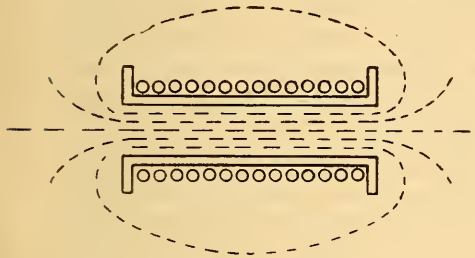


Figur 12.

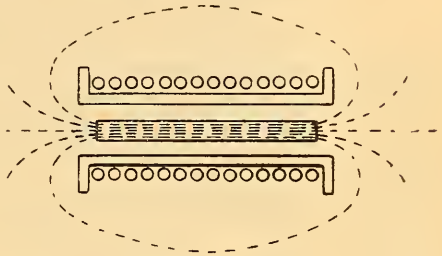
Magnetismus sofort wieder, und zwar desto rascher, je weicher es ist. Stahl wird, wenn selbst unmagnetisch, gleichfalls von beiden Polen eines Magneten angezogen. Es wird nur schwer magnetisiert, und zwar dadurch, dass lange Zeit Kraftlinien hindurchgehen, behält aber dann seinen Magnetismus und ist selbst ein Magnet mit allen Eigenschaften eines solchen.

Steckt man durch ein Solenoid (stromdurchflossene Drahtspirale) einen Stab aus weichem Eisen, so gehen sehr viele Kraftlinien durch ihn hindurch. Infolgedessen ist dieser Eisenstab magnetisch, so lange Strom durch den herumgelegten Draht geht. Einen solchen, durch electrischen Strom erzeugten Magneten nennt man Electromagneten. Die magnetisierende Kraft des Stromes auf den Eisenkern hängt ab von der Windungszahl des Solenoids und der Stärke des Stromes (in Ampère). Man fasst diese beiden Grössen in den Ausdruck „Ampèrewindungen“ zusammen. 26) Magnetisierung durch Strom. Ampèrewindungen.

Der Verlauf der Kraftlinien des Solenoides wird durch den hineingeführten Eisenstab geändert, da er einen grösseren Teil der Kraftlinien an sich zieht. (vergleiche 24). Fig. 13.



Figur 13 a.



Figur 13 b.

Bei der Magnetisierung von Eisen durch einen Strom bezw. durch ein Kraftfeld, das der Strom hervorgebracht hat, nimmt die magnetisierende Wirkung immer mit der Stärke des Stromes zu und lässt sich durch Vergrösserung der Ampèrezahl steigern, bis zu einer Grenze, die durch die Natur des magnetisierten Körpers gegeben ist. Diese Grenze heisst magnetische Sättigung. Ein Eisenstab von bestimmter Grösse und Dimension kann nicht über ein gewisses Maximum hinaus Kraftlinien erzeugen. Soll das durch ihn erzeugte magnetische Feld stärker werden, so muss ausser der Vergrösserung des Stromes eine Vermehrung der Eisenmasse stattfinden. 27) Sättigung.

Unterhalb dieser Grenze entspricht der erzeugte Magnetismus des Eisens der Stärke (Intensität) des aufgewendeten Stromes. Lässt man in einem Electromagneten die Stromstärke von 0 bis zu dem Werte wachsen, bei dem die Sättigung eintritt, so entspricht der Magnetismus des Eisenkernes in jedem Moment dem aufgewendeten, steigenden Strombetrag. Aber nicht ohne eine kleine Korrektur: Die magnetische Kraft bleibt zeitlich immer ein wenig hinter der 28) Hysteresis.

Stromänderung zurück. Dieses magnetische Zurückleiben heisst Hysteresis (ὑστερεῖν, zurückbleiben).

Beim Ansteigen des Stromes ist also das durch den Eisenkern erzeugte Kraftfeld immer etwas schwächer und bei der allmählichen Reduzierung des Stromes immer etwas grösser, als es dem aufgewendeten momentanen Strombetrage entspricht.

29) Aequivalenz.

Misst man unter Ausschluss jeder Fehlerquelle die durch den electrischen Strom erzeugte Arbeit, so ist diese, wie aus dem Gesetze von der Erhaltung der Arbeit hervorgeht, ein Aequivalent. Wird durch den erzeugten Magnetismus eines Electromagneten eine Bewegung eines Eisenkörpers entgegen seiner Schwere erzeugt, also Arbeit geleistet, so ist diese Arbeit ein Aequivalent der aufgewendeten electrischen Arbeit oder eines Teiles desselben. Es werden neben der magnetischen auch noch andere Energieformen geleistet, z. B. Erwärmung des Leiters und des Eisens. Die Summe aller hierbei zu Tage tretenden Arbeit ist der aufgewendeten gleich. Es hat auch hier nur eine Verwandlung der Energieformen ohne Aenderung der gesamten Arbeitsgrösse stattgefunden.

30) Das magnetische Feld inconstanter Ströme.

Zu einer neuen und wichtigen Gruppe der durch den Strom hervorgebrachten Wirkungen gelangen wir, wenn wir statt der konstant fliessenden Ströme in die Untersuchungsreihen inkonstante Ströme, also Wechelströme und intermittierende Gleichströme einführen.

Das Solenoid mit eingelagertem Eisenkern wird von einem sinusoidalen Wechselstrom durchflossen.

Während einer ganzen Periode treten der Reihe nach folgende Erscheinungen auf.

Zunächst schwillt der Strom von 0 aus an. Es treten Kraftlinien in den Eisenkern und dieser wird magnetisch, erhält an der einen Seite, der „Rechten Handregel“ entsprechend, einen Nordpol, an der anderen Seite einen Südpol. Die Stromstärke nimmt zu und mit ihr, ein wenig durch die Hysteresis verzögert, der Magnetismus des Eisenkernes. Der Strom erreicht sein Maximum und die Magnetisierung auch. Dieses Strommaximum kann der magnetischen Sättigung entsprechen, darüber oder darunter liegen. Entspricht die magnetisierende Kraft des Strommaximums der Sättigung nicht, so wird diese nie ganz erreicht, ist sie grösser als das Aufnahmevermögen des Stabes, so bleibt das Plus nutzlos.

Nach Erreichung des Maximums schwillt der Strom wieder ab und mit ihm der Magnetismus. Beide werden gleich Null. Der Strom kehrt seine Richtung um, und gemäss der „Rechten Handregel“ auch der Eisenkern seinen Magnetismus. Der Nordpol wird Süd-

pol und der Südpol wird Nordpol. Strom und Magnetismus schwellen an bis zum gleichen, aber entgegengesetzten Maximum, nehmen wieder ab, und so wiederholt sich das Spiel fortgesetzt.

Das Kraftlinienfeld eines Electromagneten folgt den Schwingungen des Stromes durchaus. Beim Anschwellen des Stromes bis zum Maximum treten immer mehr Kraftlinien (durch deren Zahl wir uns ja die Stärke des Kraftfeldes dargestellt denken, [s. 25]) aus, bis zu einem bestimmten Maximum, dann nimmt ihre Zahl wieder ab, wird gleich Null. Die Zahl der Kraftlinien wächst wieder, nachdem der Strom die Nullinie passiert hat und wieder anschwillt. Mit ihm hat sich aber die Richtung der Kraftlinien geändert. Sie erreichen auch hier wieder ihr Maximum, nehmen wieder ab, schwellen an — das magnetische Feld wechselt mit dem Strome, durch die Hysteresis in der Phase ein wenig verschoben, Stärke und Richtung.

31) Arbeit der Kraftfeldänderung.

Diese continuierliche, zwangsweise Aenderung des Feldes bedeutet eine Arbeitsleistung, die in irgend einer Weise ein Aequivalent finden muss. Es muss aus dieser Form electrischer Arbeit eine andere Arbeitsform gewonnen werden, wie Electricität in Wärme-, Licht-, Bewegungsenergie umgeformt werden kann.

Durch diese Ueberlegnng werden wir dazu geführt, die im Krafttelde befindlichen Körper auf Aeusserung irgend einer Wirkung zu untersuchen.

32) Induktion.

In allen im pulsierenden Kraftfelde befindlichen Leitern (Stromwegen) entsteht während des Anwachsens und Abschwellens der Aenderung des Kraftfeldes Electricität. Den das schwingende Kraftfeld erzeugenden Strom nennt man den inducierenden Strom (primärer Strom), die an den Leitern auftretende Electricitätserscheinung Induktionsstrom (sekundärer Strom), den Vorgang Induktion.

Notwendigkeit der Induktion aus dem Erhaltungsgesetz.

Die Induktion ist also eine Erzeugungsweise electrischer Spannung in leitenden Körpern durch Aenderung der Stärke des magnetischen Feldes. Kraftlinien werden ausgesendet, nehmen an Zahl zu, bis zu einem Maximum, nehmen wieder ab und treffen dabei auf leitende Körper. Der aufgewendeten Arbeit, die in der fortwährenden Aenderung der Feldstärke (Zahl und Richtung der Kraftlinien) liegt, muss eine Leistung entsprechen, und diese besteht in der Erzeugung von Electricität in allen Leitern, die von den pulsierenden Kraftlinien getroffen werden.

Die aufgewendete Energie ist um so grösser, je rapider die Kraftlinienzahl sich ändert, je schneller sie ausgesendet, je rascher

sie zu möglichst grosser Zahl vermehrt werden, in je kürzerer Zeit sie wieder verschwinden, ihre Richtung wechseln.

Der aufgewendeten Energie muss aber das Mass der neuen, entstehenden entsprechen, und so gelangen wir zu dem fundamentalen Hauptgesetz der Induktion.

33) Spannung des Induktionsstromes.

Die electrische Induktion hat zur Voraussetzung eine Aenderung der Feldstärke, der einen Leiter schneidenden Kraftlinienzahl. Die Spannung des erzeugten Induktionsstromes ist um so grösser, je grösser die Geschwindigkeit der Aenderung ist, also in je kürzerer Zeit eine möglichst grosse Kraftlinienzahl hinzukommt oder hinwegfällt.

Bedeutet d (J) die Aenderung des Kraftfeldes in einer ganz kleinen Zeit d (t), so ist die Induktionsspannung E des Sekundärstromes

$$E = \frac{d\ (J)}{d\ (t)}$$

34) Weitere Abhängigkeit des Sekundärstromes.

Ein zur Spirale aufgewundener Draht, dessen Enden frei sind, erhält im Kraftfeld eines pulsierenden Stromes Induktionsströme.

Wir denken uns als Beispiel den Drahtring über einen Electromagneten gelegt, so dass er von dessen Windungen isoliert ist.

Der Strom pulsiere sinusoidal. Gemäss der Kurve (siehe Seite 5 und 6) pulsieren die Kraftlinien, welche der Electromagnet aussendet, ebenso sinusoidal. Ein Teil der Kraftlinien schneidet den Drahtring und gemäss ihrer Zunahme und Abnahme induzieren sie diesem Electricität. Die freien Enden des Drahtringes erhalten einen Potentialunterschied, der aber nicht konstant bleibt, sondern sich ändert, wie die Kraftliniendichte sich ändert, also sinusoidal. Werden die freien Enden durch irgend einen Leiter, der Widerstand besitzen kann, verbunden, so fliesst in dieser Verbindung ein sinusoidaler Wechselstrom. Ist der Strom des Electromagneten, der Primärstrom, von anderer Kurve, etwa ein intermittierender Gleichstrom, so entspricht dem das Pulsieren des Kraftfeldes und die Grösse und Aenderung der erzeugten Potentialdifferenz, und wenn der Sekundärkreis geschlossen ist, die Spannung des, entstehenden Stromes. Die Kurven der Sekundärströme entstehen also den Kurven der Primärströme gemäss.

35) Spannung und Windungszahl.

Eine einzelne Windung der sekundären Spirale wird von einer bestimmten Anzahl Kraftlinien getroffen. Der Grösse und der Schnelligkeit der Aenderung dieser Kraftlinienzahl entspricht die an den Endpunkten der Windung erzeugte, ständig wechselnde Potentialdifferenz. Der nächsten Windung wird ebenso eine gleiche, in gleicher

Weise sich ändernde Potentialdifferenz induziert. Ist nun der Endpunkt der einen Windung der Anfangspunkt der nächsten, so dass sie, als ein Punkt, ein Potential haben, so ist das Potential dieses Punktes different gegen den Anfangspunkt der ersten und den Endpunkt der zweiten Windung. Die Potentialdifferenz dieser beiden Punkte muss also die doppelte sein (oder gleich 0, wenn die Potentiale umgekehrten Sinn haben, die eine Windung nach rechts, die andere nach links geht). Genau dieselbe Ueberlegung gilt für die dritte und jede weitere Windung der Spirale. Sind die Endpunkte der Spiralen durch eine Leitung geschlossen (verbunden), so entspricht die Spannung des pulsierenden Stromes in jedem Momente der Potentialdifferenz der Endpunkte, und hiermit ist auch die Effectivspannung des Wechselstromes oder intermittierenden Gleichstromes festgelegt.

Aus dem Induktionsgesetz ergiebt sich, dass die Spannung des Sekundärstromes in einem pulsierenden magnetischen Feld proportional ist der Windungszahl der sekundären Spirale.

36) Induktionsarbeit.

Induktion ist demgemäss allgemein die Erzeugung von Potentialdifferenz an verschiedenen Punkten eines Leiters, der sich in einem Kraftfeld befindet, durch Aenderung der Stärke des Kraftfeldes, oder, um bei der gewählten Ausdrucksweise zu bleiben, durch Aenderung der Zahl der schneidenden Kraftlinien. Es genügt demgemäss jede Aenderung der Zahl der einen Leiter schneidenden Kraftlinien zur Induktion. Jede Bewegung eines Leiters von einem Punkte des Kraftfeldes zu einem anderen, stärkeren oder schwächeren Punkte, jede Bewegung eines Kraftfeldes zu einem Leiter bringt Induktionswirkung hervor. Aus dem Gesetze der Erhaltung der Arbeit geht dies hervor. Die entstehende, electrische Induktion ist das Aequivalent für die Bewegungsarbeit (kinetische Arbeit), die wir aufwenden, um die Lage des Körpers im Kraftfelde zu ändern. Der erzeugte Induktionsstrom im sekundären Leiter erzeugt selbstverständlich auch ein Kraftfeld, uud zwar immer so, dass bei Näherung des sekundären Leiters eine Abstossung, bei Entfernung eine Anziehung stattfindet. Bei der Bewegung ist diese Anziehung oder Abstossung der Kraftfelder zu überwinden, für die hierzu verwendete Arbeit muss ein Aequivalent gewonnen werden, und dies ist der Induktionsstrom.

Statt der Bewegungsarbeit bei Annäherung oder Entfernung des primären und sekundären Leiters können beide ruhen und nur die Anzahl der Kraftlinien des primären Kreises sich ändern. Die Aenderung der Zahl der schneidenden Kraftlinien tritt an Stelle der mechanischen Bewegung.

Jede Aenderung des Feldes bringt eine Induktion hervor; jeder induzierende Strom um den Leiter ein Kraftfeld, welches das Kraftfeld des Primärstromes anzieht oder abstösst oder, wenn eine Bewegung unmöglich ist, der Zunahmen oder Abnahme der primären Kraftlinien einen Widerstand entgegensetzt. Die Aenderung

der Zahl der schneidenden Kraftlinien entgegen der Wirkung des Kraftfeldes ist die zur Induktionserzeugung verbrauchte Arbeit, die neuentstehende Aequivalentarbeit ist der Induktionsstrom.

Soviel über das Wesen der electrischen Induktion, desses volles Verständnis uns die Kenntnis alles Folgenden, des ganzen Röntgenapparates so sehr erleichtert, dass wir nicht blos verstehen, was im Röntgenapparat vorgeht, sondern die Vorgänge auch bewusst beeinflussen, mit anderen Worten, den Wert der einzelnen Konstruktionen und Reguliermethoden taxieren können.

37) Aequivalenz und Oeconomie.

Aus dem Gesetz der Erhaltung der Arbeit (15) geht hervor, dass bei Vermeidnng aller Fehlerquellen die gewonnene, gesamte Induktionsarbeit der aufgewendeten, induzierenden aequivalent sein muss. Praktisch kommen wir dem ziemlich nahe. Ein kleiner Teil der Primärarbeit wird sich ja immer in Joule'sche Wärme umwandeln und so verloren gehen.

Die Stromarbeit (16) ist, wie wir wissen, um so grösser, je grösser die Stromintensität ist, je höher die Spannung ist und je länger der Strom fliesst. Von der Zeit können wir absehen, da die Induktion so lange erfolgt, als das primäre Kraftfeld pulsiert. Bei einem idealen Transformator, der gar keinen Verlust aufweist, muss dann die primäre Stromarbeit der sekundären gleich sein, oder Spannung × Stromstärke in der Primärspule muss gleich sein Spannung × Stromstärke in der Sekundärspule. Für das Produkt Spannung × Stromstärke gebraucht man das Wort Voltampère oder Watt (s. 16).

Kennt man irgendwoher den einem Transformator eigenen Verlust bei der Transformation, so ist damit die Oekonomie, der Nutzeffekt der Induktionsvorrichtung bekannt. Ist die primäre Wattzahl bekannt, so ist damit die sekundäre gegeben. Sie ist ebensogross abzüglich des Verlustes.

38) Transformation vonStrömen.

Ein System von zwei Leiterkreisen (wie wir es oben kennen gelernt haben), bei dem ein pulsierender Primärstrom einen Sekundärstrom induziert, der ihm abzüglich des Verlustes äquivalent ist, dient dazu, die Spannung der Ströme zu verändern. Die Spannung des Sekundärstromes hängt ab von der Windungsanzahl der Sekundärspule (unter anderem) (s. 35). Besitzt die Sekundärspule eine sehr grosse Windungsanzahl, so ist die Sekundärspannung entsprechend hoch und damit die Stromintensität gering, da das Produkt, die Wattzahl, die gleiche bleiben muss. Durch konstruktive Faktoren (Windungszahlen, Feldanordnung) kann mit Hilfe solcher Apparate die Insensität und Spannung des Induktionsstromes vorausbestimmt werden. Da die Kurve des Stromes indessen gleich bleibt, so ist

für alle solche Apparate der Name Umformer oder Transformator gewählt worden, soweit sie in der Technik eingeführt sind.

39) Der Sekundärstrom.

Aus dem Induktionsgesetz gewinnen wir demgemäss eine Anschauung über den Verlauf des sekundären Stromes. Die Kurve (34) des Sekundärstromes entspricht der Kurve der Aenderung des Kraftfeldes (der Kraftlinienzahl und -Richtung). Die Spannung des Sekundärstromes ist proportional der sekundären Windungszahl (35). Die Stärke des Induktionsstromes entspricht in jedem einzelnen Moment dem Ohm'schen Gesetz, ist also abhängig von der Beschaffenheit (Drahtlänge und Stärke) des Sekundärleiters. Bei bekanntem Transformationsverlust eines Umformers kann auf Grund der primären Stromarbeit auf die sekundäre Intensität geschlossen werden, wenn die Sekundärspannung berechnet ist. Denn die sekundäre Wattzahl ist gleich der primären, abzüglich des Verlustes. Wenn der induzierende Strom 100 Watt, 20 Volt × 5 Ampère beträgt und auf die 500fache Spannung bei einer Oekonomie des Transformators von 80 % (20 % Verlust) transformiert wird (10000 Volt), so kann die Stromstärke nicht grösser sein, als 0,008 Ampère oder, da man den tausendsten Teil des Ampères als Milliampère bezeichnet, 8 Milliampère.

40) „Kupfergewicht" eines Transformators.

Noch ein weiterer konstruktiv wichtiger Zusammenhang zwischen der Stromleistung und der Dimensionierung der Apparate sei hier angefügt. Bei einer gegebenen Spannung hängt die Stärke des Stromes ab von der Länge und Dicke des Leiters, von seinem Widerstand. Wird der Drahtquerschnitt zweimal so gross gewählt, so kann die Stromstärke doppelt so gross sein, die Wattzahl verdoppelt sich. Verdoppelt sich die Spannung, dann kann der Draht doppelt so lang sein für die gleiche Stromstärke. Die gesamte Menge des Leiters ist wieder 2mal so gross, weil die Wattzahl durch Verdopplung der Spannung auf den zweifachen Wert angestiegen ist. Der Leiter besteht technisch stets aus Kupfer. Einer bestimmten Wattzahl, die in einem Leiter consumiert wird, entspricht theoretisch immer eine beste Dimensionierung dieses Leiters, ein bestimmtes Kupfergewicht. Das Kupfergewicht der primären und sekundären Spule eines Transformators soll der darin verbrauchten bezw. induzierten Wattzahl entsprechen. Die Sekundärspule soll demgemäss theoretisch gerade um so viel weniger Kupfergewicht haben, als dem Transformationsverluste entspricht.

41) Ruhmkorff Induktor.

Die Anordnung der gewöhnlichen Rühmkorffschen Induktoren entspricht ganz unserem erwähnten Beispiele. Ein Eisenkern ist mit einer Wickelung von Kupferdraht versehen und stellt so einen Electromagneten dar. Durch diesen Electromagneten wird ein pul-

sierender Strom geschickt, so dass ein sich immer änderndes, magnetisches Feld ringsum entsteht. Um die Wickelung des Electromagneten, die Primärwicklung heisst, ist, durch Nichtleiter isoliert, eine zweite Spule angeordnet, die aus sehr zahlreichen Windungen eines dünneren Drahtes besteht. Diese Windungen sind gleichfalls von einander isoliert, alle in einem Sinn gewunden, und die freien Enden sind an 2 leitende Klemmen gelegt, welche die Sekundärpole des Induktoriums enthalten und selbst als solche bezeichnet werden.

Das Pulsieren des magnetischen Feldes oder die fortwährende Zunahme und Abnahme der Zahl der schneidenden Kraftlinien erzeugt in jedem benachbarten Leiter Induktionswirkungen, also zunächst Potentialdifferenzen, die zu Strömen führen, wenn eine leitende Verbindung vorhanden ist. Die Spannung dieser Ströme hängt ab von der Geschwindigkeit der Feldstärkeänderung, von der Aenderungszahl der schneidenden Kraftlinien in der Zeiteinheit. Infolgedessen ist die einer Spule induzierte Spannung der Windungszahl proportional und um so grösser, je steiler die Magnetisierungskurve steigt und fällt. Denn die Steilheit des Abfalles der Kurve ist das Sinnbild für die Geschwindigkeit der Aenderung.

12) Die Induktionen in Bezug auf die Leiter.

Die electrische Induktion betrifft alle im Magnetfelde liegenden Leiter. Es erhält infolgedessen eine Induktion zunächst der Eisenkern des Electromagneten, eine Induktion, die wohlbemerkt mit der Magnetisierung nichts zu thun hat.

A) Wirbelströme und ihre Beseitigung.

Durch das pulsierende magnetische Feld, durch die Aenderung in der Zahl der schneidenden Kraftlinien erhalten nebeneinanderliegende Punkte im Eisen Potentialdifferenzen, die in einem massiven Eisenkern zu quer verlaufenden, wegen der grossen Feldstärke sehr intensiven Strömen Veranlassung geben. (Foucaultsche Wirbelströme.) Eisen ist ein Leiter von ziemlich bedeutendem Widerstande, die Ströme sind stark, und eine grosse Erhitzung des Eisenkernes ist die Folge (Joule'sche Wärme) (18).

Diese Wirbelströme erzeugen ihrerseits ein Kraftfeld, das der Aenderung des primären Kraftfeldes entgegen arbeitet, es schwächt, Arbeit verbraucht. Die ganze Wirkung der Wirbelströme äussert sich also darin, dass sie für einen grossen Teil der aufgewendeten Induktionsarbeit ein Wärmeäquivalent schafften, das an und für sich schädlich ist (es kann sich bis zur Glut des Eisenskerns steigern) und auch die übrige Induktion schwächt. Man ist gezwungen, die Wirbelströme zu beseitigen.

Da die Wärmearbeit der erzeugten Wirbelströme nicht das geringste nützt, so unterteilt man den Eisenkern in feine Drähte oder Bleche, die durch Isolationen getrennt sind. Nun entstehen wohl in den einzelnen Punkten des Eisens Potentialdifferenzen, die sich aber nicht ausgleichen können. Ströme, Arbeitsverbrauch kommt fast nicht zu Stande.

Auf richtige Anordnung des Eisenkernes kommt viel an, wie aus späterer Deduktion folgt. Die Isolation des Eisenkernes gegen Foucaultströme muss zweckentsprechend und gut sein. Zuerst meines Wissens von Boas wurden beste Dynamobleche mit Papierisolation benutzt, die von verschiedenen Firmen (Allgem. Electr.-Ges., Siemens & Halske, Electrotechnisches Laboratorium Aschaffenburg) ausschliesslich verwendet werden.

B) Selbstinduktion. Extrastrom.

Alle einzelnen Windungen der Primärspule werden vom pulsierenden Primärstrom durchflossen, und alle einzeln erzeugen immer Kraftfelder, die sich dann alle gegenseitig verstärken und (vergl. 23) zu einem Kraftfelde vereinigen.

Die Kraftlinien jedes einzelnen Drahtes induzieren bei ihrer Aenderung jedem in ihrem Felde liegenden Leiter Strom, also zunächst allen benachbarten Windungen der eigenen Spule. Diese Erscheinung heisst Selbstinduktion, ist die schwierigste, aber zugleich interessanteste Gruppe von Ueberlegungen und Begriffen in unseren Untersuchungen über die Wirkungen des Stromes.

Zunächst ist es ganz gleichgültig, ob die Induktion in einem fremden oder im eigenen primären Leiter auftritt. Wir dürfen uns nicht von diesem Umstand beirren lassen. Die Selbstinduktion folgt dem Induktionsgesetz genau so, wie jede andere Induktion. Die Spannung der Selbstinduktion hängt ab von der Schnelligkeit der Aenderung des Kraftfeldes (33) und der Windungszahl (35). Die Kurve der Selbstinduktionsspannung ist der Kurve der Aenderung des Kraftfeldes entsprechend. (34) Die Stärke des Kraftfeldes selbst hängt ab von den Ampèrewindungn (26) und, wegen des Verlaufes der Kraftlinien, von der Eisenmasse, innerhalb gewisser Grenzen (24).

In dem Begriffe Ampèrewindungszahl hängt der Faktor Ampère ab von der Spannung des Stromes (in Volt) und dem Widerstande der Leitungen in Ω (Ohm) (4). Der Widerstand der Leitung ist um so grösser, je grösser ihre Länge ist. (4.) Wenn also die Spannung konstant bleibt, so wird die Feldstärke nicht etwa durch Vergrösserung der Windungszahl vermehrt, denn durch Verdoppelung der Leitungsanzahl erhöht sich die Leitungslänge und der Wider-

stand auf das doppelte oder mehr (wenn die Drähte übereinander gewickelt werden und so die Weite der Windungen zunimmt).

42) Fortsetzung von der Abhängigkeit der induzierten Extrastrompannung; Selbstinduktionscoefficient.

Wir resümieren. Bei der Beurteilung der Spannung der Selbstinduktion wie jeder anderen Induktion auch, kommt Folgendes in Frage:

1. Schnelligkeit der Aenderung der Kraftlinienzahl.
2. Windungszahl der induzierten Spule,
   1. Die Schnelligkeit der Aenderungen der Kraftlinienzahl oder Feldstärke hängt ab von
      a) der magnetischen Grösse des Eisens,
      b) den Ampèrewindungen;

statt Ampère können wir aber schreiben $\frac{\text{Volt}}{\text{Ohm}}$; bezeichnet W die Windungszahl, so ist

der Ausdruck Ampèrewindungen $= \frac{\text{W V}}{0}$

Die Spannung der Induktion wird von verschiedenen Faktoren demgemäss beeinflusst, die sich aber leicht in 3 Gruppen teilen lassen.

Die Schnelligkeit in der Aenderung des Stromes (1) und die Ampèrezahl (Teil von 1) sind Faktoren, die dem fliessenden Strom eigen sind. Die Windungszahl der induzierten (d. i. bei der primären) Spule und das magnetische Moment des Eisenkerns sind Eigenschaften des Electromagneten, die lediglich von seiner Dimensionierung abhängen. Man bezeichnet diesen letzteren Wert als „Selbstinduktionscoefficient" der Spule. Der Selbstinduktionscoefficient ist demnach der Spule eigentümlich. Endlich bleibt nochmal die Windungszahl als Coefficient der Ampèrewindungen.

43) Die Selbstinduktion (Forts.) Ihre Wirkung.

Diese Faktoren sind also massgebend für die Spannung jedes Induktionsstromes. Von ihnen hängt die Spannung der Selbstinduktion ab, die Spannung der Wirbelströme (bei denen der Faktor 2 wegfällt, nicht aber die Windungszahl 3) und die Spannung des Sekundärstromes.

Betrachten wir zuerst die Selbstinduktion.

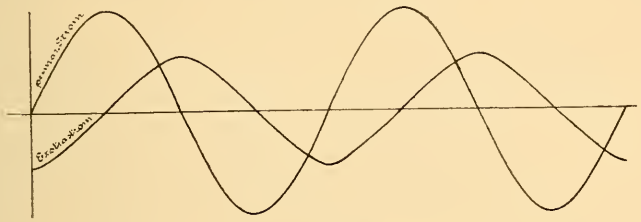
Der Primärstrom pulsiert nach irgend einer Kurve. Jede Aenderung des Kraftfeldes bringt einen Induktionsstrom hervor, welcher der Aenderung entgegenarbeitet (s. 36, 42 ff.).

Die Arbeit des erzeugten Selbstinduktionsstromes geht auf Kosten von verbrauchter Primärstromarbeit. Es muss also Primärstrom verbraucht werden, verschwinden, der erzeugte Strom muss

eine Schwächung des erzeugenden hervorbringen, muss ihm entgegenarbeiten, entgegengesetzt gerichtet sein (s. 31, 32, 36).

Der Induktionsstrom wirkt jeder ihn hervorbringenden Aenderung der Feldstärke entgegen. Da nun der durch die Selbstinduktion hervorgerufene Strom, der sogenannte Extrastrom, in derselben Spule verläuft, so muss sich der Extrastrom mit dem Primärstrom vereinigen, seine Wirkungen auf diesen ausüben.

Es pulsiert in den Primärwindungen ein sinusoidaler Wechselstrom, dessen Effektivspannung bekannt ist. Ebenso ist bekannt der Ohm'sche Widerstand und der Selbstinduktionscoefficient, endlich die Periodenzahl des Wechselstromes. Nun können wir — allerdings rechnerisch nur mit Hilfe der höheren Mathematik — die Spannung und damit die Stromstärke des Extrastromes bestimmen. Die Spannung des Primärstromes steigt und fällt nach der gezeichneten Kurve. (Fig. 14). Jeder Aenderung entspricht eine entgegengesetzte Spannung des Extrastromes.



Figur 14.

a) Impedanz, Korrektion des Ohm'schen Gesetzes.

Die primäre Spannung würde einen effektiven (11) Strom hervorbringen, der sich nach dem Widerstand (in Ohm) richtet. In jedem Augenblicke aber bringt die Extrastromspannung einen entgegengesetzt gerichteten Strom hervor, der den primären Strom schwächt. Der Primärstrom wird also immer kleiner sein, als er nach dem Ohm'schen Gesetz sein müsste. Der Extrastrom bewirkt eine scheinbare Erhöhung des Widerstandes, die man Impedanz nennt.

Die scheinbare Erhöhung des Widerstandes (Impedanz) ist um so grösser, je grösser der Selbstinduktionscoefficient der Spule ist — also je mehr Eisen, je mehr Windungen sie besitzt. Das Ohm'sche Gesetz gilt demgemäss nur für Gleichstrom, denn jeder, von pul-

sierendem Strome durchflossene Leiter liegt in seinem eigenen Kraftfeld. Für pulsierende Ströme muss das Ohm'sche Gesetz heissen

$$A = \frac{V}{\text{Impedanz}}$$

b) Phasenverschiebung.

Bei der Betrachtung der Hysteresis (28) zeigte sich, dass — infolge der magnetischen Trägheit des Eisens — die Magnetisierung immer gegenüber dem Aendern der Stromstärke zurückbleibt: also eine Phasenverschiebung (12) des Magnetismus im Eisen gegenüber der magnetisierenden Ampèrezahl resultiert. Durch die Selbstinduktion wird gleichfalls eine Phasenverschiebung herbeigeführt. Die Stromstärke entspricht nicht der momentanen Spannung. Ihr wirkt der Selbstinduktionsstrom entgegen, so dass die Stromstärke in ihrer Phase immer gegen die Spannung zurückbleibt.

Je grösser der Selbstinduktionscoefficient einer Primärspule ist, desto grösser ist die Phasenverschiebung der Stromstärke gegenüber der Spannung. Diese Phasenverschiebung erleidet auch der induzierte Strom; denn die Kurve des Induktionsstromes entspricht der Kurve der Magnetfeldänderung und hängt von denselben Faktoren, wie diese, ab.

Die Dimensionierung des Eisenkernes ist für die Konstruktion des Transformators, speziell des Induktoriums sehr wichtig, weil von ihm die Stärke des Kraftfeldes und so die Induktion in der Sekundärspule, die Selbstinduktion und endlich die Phasenverschiebung abhängt. Je stärker die Magnetisierung durch die Ampèrewindungen wird, desto besser wird das vorhandene Eisen ausgenützt. Nähert sich die Magnetisierung der Sättigung (27), so nimmt sie nicht mehr der zunehmenden Ampèrewindungszahl entsprechend zu und der Apparat wird unregulierbar, weil man die Feldstärke nicht mehr entsprechend der Stromverstärkung vermehrt. Der Konstrukteur nennt das: ein schlechtes Feld bekommen — und achtet darauf, dass er auch bei starker Belastung des Apparates (grosser Stromstärke) nie zu nahe an die Sättigung herankommt.

Sättigung und Phasenverschiebung sind zwei, wenn auch nicht hauptsächliche, so doch wichtige Umstände für die Kenntnis des Induktionsorganes.

Forts. v. 42.

c) Die sekundäre Induktion.

Der Kurve des thatsächlichen Primärstromes, der durch den Extrastrom modificiert ist, entspricht, mit einer mehr oder weniger grossen Phasenverschiebung, die Kurve der Magnetfeldänderung. Dieser entspricht der Sekundärstrom. War also der Primärstrom ein

sinusoidaler Wechselstrom, so ist auch der Induktionsstrom ein solcher, jedoch mit mehr oder weniger Phasenverschiebung. Die Leistung (Arbeit) des Sekundärstromes ist gleich der des primären abzüglich aller Verluste durch Wirbelströme, Joule'sche Wärme und Magnetisierungsarbeit. Das Kupfergewicht des primären und sekundären Stromes entspricht der Arbeitsgrösse. Je grösser die Frequenz der Ströme ist, desto geringer kann bei gleicher Transformationsarbeit das Kupfergewicht des Transformators sein.

C.

Die Röntgenstrahlen und das Induktionsgesetz.

44) Erzeugungsbedingung der X-Strahlen.

Die X-Stahlen entstehen bei sehr niedrigem Gasdrucke (hohem Vakuum) in den zu ihrer Erzeugung hergestellten Röntgenröhren beim Durchgange des electrischen Stromes. Die Menge der erzeugten Röntgenstrahlen ist (wahrscheinlich) einfach abhängig von der Intensität des die Röhre passierenden Stromes. Die Röntgenröhre bietet für den electrischen Strom einen sehr grossen Widerstand, der mit dem Vakuum wächst. Es muss demnach eine hohe Spannung zur Erzeugung der X-Strahlen aufgeboten werden.

Wir besitzen kein Mittel, Spannung von einigen 10000 Volts technisch genau zu messen. Die Schätzungen der notwendigen Spannung gehen daher ziemlich weit auseinander. Nach Klingelfuss'scher Methode bestimmt, mag die Spannung etwa 20000 bis 100,000 Volt betragen.

Einen konstanten Potentialunterschied von dieser Grösse kann die Technik praktisch nicht herstellen. Es bleibt die Induktion. Die Dimensionierung der primären und sekundären Spule, die Steilheit der Kurve der Kraftfeldänderung ermöglicht die Sekundärspannung sehr hoch zu steigern.

Um eine Spannung von 20 000 Volts zu erhalten, wären (nach 6) 10 000 hintereinandergeschaltete Accumulatoren notwendig. Sogenannte Electrisiermaschinen, die durch Reibung und Influenz hochgespannte Electricität erzeugen, haben sich wenig eingebürgert, da sie relativ sehr geringe Electricitätsmengen liefern und wenig Röntgenstrahlen erzeugen. In Frankreich hat man mit solchen Maschinen viel gearbeitet, indessen kommt man zweifellos bei Anwendung der Induktion sicherer, einfacher und erfolgreicher zum Ziel. —

In der Röntgenröhre wird der electrische Strom in eine andere Form von Energie, in Kathodenstrahlen, umgewandelt, und diese erzeugen die Röntgenstrahlen auf einer Stelle, die zugleich positiver Pol (Anode) der Röhre ist. Die Kathodenstrahlen tragen ihren Namen von ihrem Ausgangspunkte, der Kathode, dem negativen Pol der Röhre.

Da die X-Strahlen immer durch Kathodenstrahlen erzeugt werden, so muss zur Erzeugung ein Strom verwendet werden, der seine Richtung nicht ändert, der kein Wechselstrom ist. Denn sonst würde die Kathode ja abwechselnd Anode werden und in diesem Falle könnten keine Röntgenstrahlen entstehen; die Arbeit würde sich dabei in etwas anderes umsetzen. Das Experiment zeigt, dass dann wieder Wärme entsteht, die Stelle, wo die Röntgenstrahlen auftreten (Antikathode genannt), heiss wird, ja schmilzt, dabei Gas abgiebt und die Röhre verdirbt.

45) Eigenschaften des Stromes zur Erzeugung der X-Strahlen. Abhängigkeit der X-Strahlen-Menge.

Induktion erfordert aber einen inkonstanten, pulsierenden Strom. Wechselstrom ist, wie wir eben sahen, ausgeschlossen. Zur Entstehung von X-Strahlen ist demnach intermittierender Gleichstrom von hoher Spannung/ Induktionsimpulse einer Richtung notwendig.

Die Menge der erzeugten X-Strahlen hängt ab von der Intensität des induzierten, durch die Röhre geleiteten Stromes und von der Anzahl der Impulse in der Zeiteinheit, der Frequenz.

Eine ideale Kurve eines solchen Stromes lernten wir bereits kennen. (S. 10. — Fig. 6.)

46) Kurve des notwendigen Stromes. Practische Erzeugung eines solchen Stromes.

Die Kurvenform der Impulse hängt ab von der Kurve, nach der das magnetische Kraftfeld sich ändert, diese Aenderung von der Kurve des Magnetisierungsstromes, des Primärstromes. Es muss also ein Primärstrom benutzt werden, der nach einer solchen oder ähnlichen Kurve schwingt, wie der gewünschte Sekundärstrom. —

Zwei Punkte besitzen ein konstantes, verschiedenes Potential. Ihre Potentialdifferenz beträgt z. B. 100. Es besteht zwischen ihnen eine leitende Verbindung, die um einen Eisenkern führt (Electromagnet). Endlich ist die Möglichkeit gegeben, die leitende Verbindung an einer Stelle zu unterbrechen und wieder herzustellen.

Diese Funktion besorgt der Unterbrecher am Röntgenapparat. Wir denken uns einen kontinuierlich arbeitenden Unterbrecher, der sehr häufig unterbricht, dem Strom eine grosse Frequenz giebt.

Zu untersuchen ist die Kurve der Spannung und Stärke des aus der Potentialdifferenz entstehenden, durch Unterbrechung intermittierenden Stromes, die Kurve der Spannung des im Electromagneten entstehenden Selbstinduktionsstromes, die Kurve der Intensität des unter dem Einfluss beider wirklich fliessenden Primärstromes, des effektiven Primärstromes, die Spannung und Intensität des in einer über den Electromagneten geschobenen Spule induzierten Sekundärstromes.

47) Primärstromkurve nach dem Ohm'schen Gesetz.

Ganz unabhängig von dem im Leitungskreise eingeschalteten Electromagneten betrachtet, muss im Momente des Stromschlusses ein Strom zustande kommen von der Spannung 100 auf Grund des Potentialunterschiedes. Dieser Strom besitzt eine bestimmte Intensität auf Grund des Ohm'schen Gesetzes und fliesst solange der Stromschluss dauert. Wird der Stromschluss unterbrochen, so besteht keine leitende Verbindung mehr, der Strom ist Null — bei bleibender konstanter Potentialdifferenz.

Hierbei abstrahieren wir noch von der Zeit ganz und führen diese erst in dem Momente ein, wo wir den Strom als Arbeit verrichtend betrachten. Dann steigt die Kurve auch nicht mehr senkrecht an und fällt nicht mehr senkrecht ab.

48) Correction durch Kraftfeld-Induktion.

Der Schliessungskreis führt um einen Electromagneten. Im Augenblicke des Stromschlusses entsteht ein Kraftfeld, dessen Intensität von 0 bis zum Maximalwert (der durch die Stromstärke, Windungszahl und durch das Eisen bestimmt ist) wächst. Es ändert sich also das Kraftfeld, die Zahl der schneidenden Kraftlinien und infolgedessen erhalten alle stromleitenden, im Felde befindlichen Körper Induktionsstrom, der dem ihn erzeugenden, induzierenden Strom entgegengesetzt gerichtet ist.

Es entsteht vor allen Dingen im Eisenkern Wirbelstrom, der schädlich ist und der durch Hilfsmittel (42 A) reduziert werden kann. Von ihm können wir absehen.

49) Selbstinduktion, Stromschlusskurve.

Es entsteht sodann Selbstinduktion in der primären Spule, die der Kraftlinien-Aenderung entgegenwirkt und sich als ein Widerstand geltend macht, verhindert, dass der Strom sofort zu der durch das Ohmsche Gesetz gegebenen Stärke anwächst. Jedem Anwachsen des Primärstromes entspricht beim Stromschluss ein Anwachsen der Spannung des Selbstinduktionsstromes. Hieraus, sowie aus der Hysteresis des Eisens, das erst allmählich magnetisiert wird, entspringt ein allmähliches Anwachsen der Stromkurve.

50) Schliessungsselbstinduktions-Strom. (Extrastrom); Wirkung auf die Stromschlusskurve.

Die Intensität des Primärstromes beim Stromanschluss, die Stärke des erzeugten magnetischen Feldes wächst demnach allmählich. Die Anstiegkurve des Magnetfeldes ist nicht schroff, sondern flach. Bezeichnen wir die Selbstinduktion beim Stromschluss als Schliessungsselbstinduktion oder primäre Schliessungsinduktion oder Schliessungsextrastrom, so ergiebt sich: Beim Stromschlusse steigt die Kurve der Intensität des erzeugten Kraftfeldes allmählich an, und dieser Anstieg ist um so langsamer (Kurve um so flacher) je grösser der primäre Selbstinduktionsstrom ist.

Der primäre Selbstinduktionsstrom (d. h. seine Spannung) hängt ab von der Windungszahl der induzierten (d. h. hier die primäre) Spule, vom Selbstinduktionscoefficient und der primären Stromstärke. Die Stromschluss-Anstiegkurve des magnetischen Feldes wird also um so flacher, je grösser die Windungszahl, je grösser der Selbstinduktionscoefficient und die primäre Stromstärke ist; für Stromstärke können wir auch setzen $= \frac{\text{Spannung.}}{\text{Widerstand.}}$

51) Oeffnungsextrastrom. Oeffnungskurve.

Ist der Primärstrom und das Kraftfeld zu seinem maximalen Werte gewachsen, so erfolgt eine möglichst schnelle Unterbrechung des Stromes.

Der Primärstrom wird plötzlich gleich Null, das Eisen entmagnetisiert, das Kraftfeld nimmt rapid ab. Die Kraftlinien fallen zusammen. Diese sehr rapide Aenderung im Kraftfeld erzeugt einen ihr entgegen arbeitenden Selbstinduktionsstrom von grosser Spannung — denn diese Spannung hängt ja von der Raschheit der Kraftfeldänderung ab. Der Oeffnungs-Selbstinduktionsstrom oder Oeffnungs-Extrastrom oder primäre Oeffnungsstrom wirkt der Abnahme des des Kraftfeldes entgegen, entgegen der Entmagnetisierung, er sucht die Magnetisierung fortzusetzen, er hat also die gleiche Richtung wie der Primärstrom sie hatte.

Aehnlich dem allmählichen Anstieg des Primärstromes würde ein allmählicher Abfall der Kurve bei der Oeffnung entstehen, wenn es kein Mittel gäbe, die Oeffnungsselbstinduktion abzuleiten. Dieses Mittel kann gegeben sein in einer electrostatischen Kapacität.

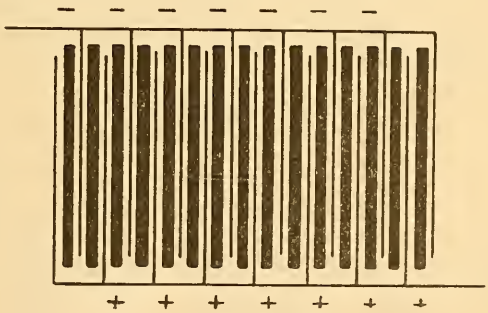
52) Einschaltung: Ueber den Kondensator und seine Wirkung.

Die statische Electricität nehmen wir als Zustand eines Körpers an, als eine Eigenschaft. (S. 1.) Vermöge der Dimension (Oberfläche) vermag ein Körper von dieser mitteilbaren Eigenschaft ein grösseres oder geringeres Maass su besitzen. Dieses Maass, das Maass seiner electr. Ladung, nennen wir seine Electricitätsmenge (nicht zu verwechseln mit Stromstärke bei der Electrodynamik.) Die Electricitätsmenge hängt ab von der Qualität der Ladung, ihrer electrischen

Wertigkeit, ihrem Potential und der Grösse der Oberfläche des geladenen Körpers.

Gleichnamige Electricitätsladungen stossen sich ab, ungleichnamige ziehen sich an. Sind zwei Metallscheiben in obigem Sinne ungleichnamig und gleich stark geladen, so suchen sie sich zu nähern und ihre Ladung hebt sich bei Berührung gegenseitig auf. Liegt zwischen den beiden Platten eine Scheibe aus gut isolierendem Material, so können sie sich nicht bis zur Berührung nähern und die Ladungen sich nicht ausgleichen. Da sie aber entgegengesetzt polar sind und sich anziehen, so halten sie sich durch ihre Anziehungskraft gegenseitig fest. Die Abstossungs- und Anziehungskraft wächst mit dem Quadrate der Entfernung. Je besser der gewählte scheibenförmige Isolator ist, desto dünner kann er sein, desto näher kommen die Ladungen, desto mehr ziehen sie sich an, halten sich fest. Die äquivalenten, entgegengesetzten, ungleichnamigen Electricitätsmengen halten sich gegenseitig fest. Die Mengen sind um so bedeutender, je näher die Platten aneinander liegen, was wieder von der Stärke des Isolationsmaterials abhängt. Dieses wird um so dünner sein können, je besser sein Isolationsvermögen, seine „Dielectricitätskonstante" ist. Die Menge der in einem solchen Apparate festgehaltenen Electricität ist also um so grösser, je grösser die Fläche der geladenen Scheiben und je grösser die Dielectricitätskonstante ist. Ein Apparat, der auf diese Weise statische Electricität aufnimmt, heisst Kondensator. Kondensatoren von grosser Capacität entstehen durch Parallelschaltung zahlreicher Platten, wobei jeweils die positiven und negativen unter sich verbunden sind. Die Kapacität des Kondensators muss der Electricitätsmenge entsprechen, die er aufzunehmen hat.

Figur 15.



Figur 16.

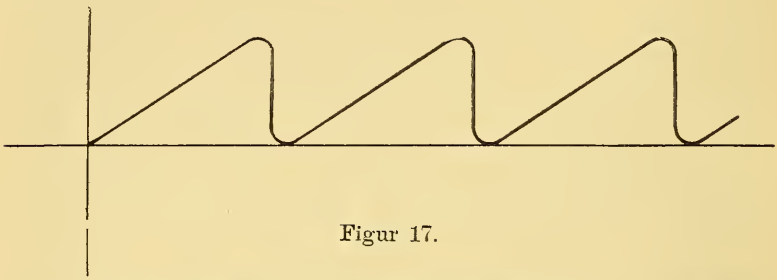
Beim Röntgenapparate entlädt sich der Oeffnungs-Selbstinduktionsstrom in einen Kondensator von entsprechender Capacität bei Benutzung mechanischer Unterbrecher. Electrolytische Unterbrecher nehmen den Oeffnungsextrastrom selbst auf. Der Konden- 53) Wirkung des Kondensators auf die Oeffnungskurve.

sator macht die Kurve bei der Stromöffnung steiler abfallend.

54) Kurve der Feldstärke.

Der Oeffnungsextrastrom, der in der Richtung des Primärstromes fliesst, ist vermöge der raschen Aenderung des Magnetfeldes bei der Unterbrechung sehr hoch gespannt. Seine Spannung ist abhängig von der Geschwindigkeit der Magnetfeldabnahme, von der Windungszahl, von der primären Stromstärke und dem Selbstinduktionscoefficient.

Die Kurve des Verlaufes der Feldstärke ist demnach etwa die folgende:

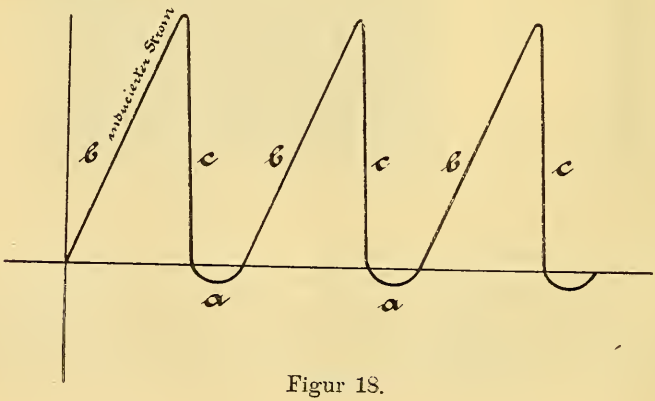


Figur 17.

Sie steigt langsam an und fällt dann rasch ab. Der Anstieg ist um so flacher, je stärker der Schliessungsextrastrom ist. Der Abfall wird aber deswegen immer steiler sein, weil der Oeffnungsextrastrom durch eine Kapacität abgeleitet wird.

55) Der Sekundärstrom. a) Spannung.

Die Induktion in der Sekundärspule verläuft demgemäss folgendermassen:



Figur 18.

Die Spannung des Sekundärstromes hängt ab:

1) Von der Schnelligkeit der Feldänderung (Kurve),

2) Der sekundären Windungszahl.

b) Kurve bei Stromschluss und die Beeinflussung der sekundären Schliessungsinduktion.

Bei der Stromschliessung ist der Anstieg der Feldstärke langsam — um so langsamer, je grösser der Schliessungsextrastrom ist. Die Spannung des Schliessungsinduktionsstromes[1]) ist daher nicht gross — sie wächst mit der sekundären Windungszahl.

Hätte man die Absicht, den sekundären Schliessungsinduktionsstrom möglichst klein zu machen, so müsste man entweder den Anstieg recht flach, also den primären Extrastrom gross, oder die sekundäre Windungszahl gering machen.

Die sekundäre Windungszahl — eine Grösse, deren Bestimmung für den Röntgenapparat wir sogleich erörtern werden — sei uns gegeben.

Der Anstieg der Kurve (die Schnelligkeit der Zunahme der Kraftlinien) ist dann um so mässiger, je mehr das Anwachsen des Primärstromes durch den Schliessungsextrastrom aufgehalten wird[2]).

[1]) und zwar in der Sekundärspule.

[2]) Die Feldstärke bezeichnen wir durch F. In dem ganz kleinen Zeitteilchen dt nimmt beim Stromschluss die Feldstärke um die Grösse d F. zu. Je geringer diese Grösse ist, desto langsamer, flacher ist der Anstieg der Feldstärke beim Stromschluss, desto geringer die Spannung der durch sie erzeugten sekundären Schliessungsinduktion. Soll diese klein sein, so muss d F in der Zeit d t auch klein gemacht werden. Wir müssen also untersuchen, von welchen Faktoren d F in der Zeit d t abhängt. (Das Vorsetzen von d bezeichnet einen sehr kleinen Teilbetrag, ein sogenanntes Differential der Grösse.)

Die Feldstärkezunahme d. F hängt ab von dem magnetischen Moment[a]), der primären thatsächlichen Stromstärke und der primären Windungszahl, also:

$$d\,F = M \times A \times W_1 \quad . \quad . \quad . \quad 1).$$

Das magnetische Moment ergiebt sich aus der Dimension und Konstruktion des Eisenkernes. Die Windungszahl ist bei einem Induktor leicht zu ermitteln, die Ampèrezahl dagegen setzt sich zusammen aus der eigentlichen, durch das Ohm'sche Gesetz im Primärkreise gegebenen Ampèrezahl und der ihr entgegengesetzten Stromstärke des Extrastromes.

$$A = A_1 - A_1^1 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 2).$$

[a]) unter dem magnetischen Moment des Eisenkernes soll seine aus der Dimension und dem Materiale sich ergebende Eigenschaft verstanden sein. Von diesen Grössen ist der durch das Ohm'sche

Um also die Spannung der sekundären Schliessungsinduktion zu verringern, können wir:

1) die sekundäre Windungszahl kleiner machen,
2) die primäre Stromstärke reduzieren, und zwar entweder durch Erhöhung des Widerstandes oder durch Verringerung der Spannung,
3) die Eisenmenge (in gewissen Grenzen) verkleinern,
4) die primäre Windungszahl vergrössern — was jedoch nur geringe Wirkung ausübt.

Am wirkungsvollsten sind die beiden ersten Arten der Regulierung. Die beiden letzten Möglichkeiten (die Regulierung des Selbstinduktionscoefficienten) haben weit geringeren Wert, da durch ihre Erhöhung nicht nur der Extrastrom, sondern auch die Feldstärke vermehrt wird, zwei Wirkungen auf die Sekundärspule, die sich gegenseitig fast compensieren.

56) Der Sekundärstrom. Fortsetz. Die Oeffnungsinduktion und ihre Abhängigkeit vom Oeffnungsextrastrom.

Hiermit sind wir orientiert über die sekundäre Induktionsspannung beim primären Stromschluss.

Wir untersuchen jetzt die sekundäre Oeffnungs-Induktion, den Oeffnungsinduktionsstoss.

Der Abfall der induzierenden Stromkurve ist sehr steil. Er ist um so steiler, je weniger der Extrastrom bei der Unterbrechung den Primärstrom fortzusetzen sucht, je geringer der Extrastrom ist, oder je mehr man ihn beseitigt.

Gesetz verlangte Primärstrom einfach gleich der Voltzahl der Stromquelle, dividiert durch die Ohmzahl

$$A_1 = \frac{V_1}{0} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 3).$$

Die Stärke des erzeugten Extrastromes A_1^1 hängt auch ab von seiner Spannung V^1 und der Ohmzahl der Primärspule 0

$$A_1^1 = \frac{V_1^1}{0} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 4).$$

Die Spannung des Extrastromes hängt aber ab von der Windungszahl der induzierten d. i. der primären Spule und der Feldstärkeänderung (magnetisches Moment M Ampère Windungen der Primärspule $A_1 \times W$) — wobei eigentlich noch die Zeit d t berücksichtigt werden muss.

$$V_1^1 = MA_1W_1 \times W_1$$

für A_1 setzen wir (3) $\frac{V}{0}$

Der Oeffnungsextrastrom hängt von denselben Faktoren ab, wie der Schliessungsextrastrom. Durch die gleichen Mittel wirken wir auf ihn in gleicher Weise ein.

a) Spannung. b) Kurve.

Die Spannung des sekundären Oeffnungsstromes ist demgemäss sehr hoch, um so höher, je grösser die sekundäre Windungszahl ist, und je besser der primäre Oeffnungsextrastrom unterdrückt ist.

Die Kurve der sekundären Spannungen ergiebt sich aus dem Gesagten ungefähr folgendermassen:

Beim Stromschlusse wächst die Feldstärke langsam an und erzeugt durch Induktion einen sekundären Strom, der in seiner Wirkung (s. 36) dem primären Strom entgegengesetzt gerichtet ist einen Strom von geringer Spannung (siehe a Fig. 18.)

Wenn das Kraftfeld zu einer gewissen Stärke angewachsen ist, so erfolgt die Unterbrechung des Primärstromes und, wenn für eine Beseitigung des Oeffnungsextrastromes gesorgt ist, eine rapid

$$V_1 = \frac{MV_1W_1^2}{0^2} \quad \ldots\ldots 5).$$

dann ist $A_1^1 = MV_1W_1^2$

A ist nach Gleichung 2:

$$A = \frac{V_1}{0} = \frac{MV_1W_1^2}{0^2}$$

wofür man auch schreiben kann

$$A = \frac{V_1}{0}\left(1 - \frac{MW_1^2}{0}\right) \quad \ldots\ldots 6)$$

und endlich die Zunahme der Feldstärke nach Gleichung (1):

$$dF = MW_1 \frac{V_1}{0}\left(1 - \frac{MW_1^2}{0}\right)$$

Die sekundäre Schliessungsinduktionsspannung ist also um so kleiner, je kleiner der abgeleitete Wert für d F in der kleinen Zeit d t ist, also um so kleiner, je kleiner das magnetische Moment, die primäre Stromstärke $\left(A = \frac{V_1}{0}\right)$ ist, ändert sich dagegen nicht sehr beträchtlich mit der Windungszahl. Denn wenn die Windungszahl kleiner gewählt wird, so wächst der erste Faktor $\left(MW_1 \frac{V_1}{0}\right)$ des Produktes, während der zweite Faktor des Produktes abnimmt. Die Abnahme ist quadratisch und etwas grösser als die Zunahme. Daher ergiebt sich, dass durch die Vermehrung der Windungszahl die sekundäre Schliessungsinduktion nicht zu, sondern etwas abnimmt.

Abnahme des Kraftfeldes, die eine intensive Induktionswirkung (siehe b Fig. 18) in der Sekundärspule erzeugt.

Die grosse Induktionswirkung bringt an den Sekundärklemmen eine sehr grosse Potentialdifferenz hervor, so dass der Strom eine bedeutende Spannung von vielen tausend Volt besitzt. Diese Spannung ist so gross, dass sie eine Luftstrecke von vielen Centimetern überwindet und auch bei dem hohen Widerstande der Röhre noch immer Strom von geringer Intensität der Röntgenröhre zuführt.

Der Ausgleich einer solchen hohen Spannung erfolgt in Form eines rasch verlaufenden Stromstosses. Man stellt sich vor, dass die zahlreichen Windungen der Sekundärspule durch die Induktion „geladen" werden und nennt den Stromausgleich eine „Entladung".

Bei der Entladung fällt die induzierte Spannung rasch auf 0 (siehe c Fig. 18) und der nächste Stromschluss bringt eine Induktion entgegengesetzter Richtung hervor.

57) Verwendbarkeit des untersuchten Induktionsstromes für die Erzeugung von X-Strahlen.

Die Röntgenröhre braucht rasch aufeinander folgende Stromimpulse einer Richtung.

Von der Intensität und Frequenz (s. 45) der Impulse hängt die Menge der erzeugten X-Strahlen ab. Wir stellten (46) eine Kurve auf, wie ungefähr der ideale Verlauf des Induktionsstromes zum Betriebe von Röntgenröhren aussieht. Beim Vergleiche dieser Kurve mit der des Verlaufes der Sekundärströme ergiebt sich eine Aehnlichkeit. Die oben betrachteten Induktionsströme sind also zur Erzeugung von X-Strahlen geeignet, weil die Unterbrechungsinduktion die Schliessungsinduktion weit überwiegt, und sie sind um so geeigneter, je weitergehend dieses Ueberwiegen ist.

58) Mängel der Kurve dieses Stromes und Annäherung an die ideale Kurve. 3 Forderungen für die Röntgenapparate.

Eine Idealkurve ist die Kurve des Sekundärstromes nicht, da zwischen je zwei starken Stromstössen in einer Richtung, die wir für die Erzeugung der X-Strahlen verwenden können, ein allerdings schwächerer Induktionsstoss in umgekehrter Richtung liegt (Schliessungs-Induktion).

Der Strom eines Induktors ist für die Bildung von Röntgenstrahlen um so geeigneter, je mehr die Spannung der Oeffnungsinduktion die Spannung der Schliessungsinduktion überwiegt, je grösser die Differenz dieser Spannungen ist.

Hieraus und aus den Abhängigkeitsbedingungen der X-Strahlen ergeben sich 3 Forderungen für die Konstruktion der Apparate, Kriterien für die Beurteilung ihrer Qualität.

1. Die Differenz zwischen Schliessungs- und Oeffnungs-Induktion muss möglichst gross sein.
2. Die einzelnen Entladungen der Oeffnungsinduktion müssen möglichst intensiv und
3. möglichst frequent sein.

59) Weitere Forderungen für den Sekundärstrom.

Zu diesen 3 theoretischen Bedingungen, die für die Kenntnis und Beurteilung der Apparate unerlässlich sind, treten noch eine grosse Reihe anderer technischer Faktoren, die den Wert eines Instrumentariums mitbestimmen. Zur sekundären Induktionswirkung tragen nur diejenigen Kraftlinien bei, die auf sekundäre Leiterteile treffen. Andere Kraftlinien verlaufen, von den Polen insbesondere, in der Luft und sind für die Induktion verloren. Diesen Verlust durch zerstreut verlaufende Kraftlinien nennt die Technik Streuungsverlust. — Die Leistung eines solchen Transformators muss man beurteilen nach der Gösse der einigermassen rationell umgeformten electrischen Stromarbeit. Die Grösse der Spannung an den sekundären Klemmen lässt sich nach der Grösse des Widerstandes bemessen, durch den hier die Spannung sich ausgleicht. Ist der Weg eine Luftstrecke, so ist der Widerstand der Länge der Luftstrecke annähernd, proportional. Man kann demnach die Spannung (annähernd) durch die Luftstrecke messen. Die maximale Luftstrecke, durch welche hin bei Erzeugung eines möglichst rapiden Abfalles (stärkstes Feld, grosse „Belastung“ des Induktors) die Oeffnungsinduktion sich ausgleicht, nennt man die Schlagweite des Induktors (oder seine Funkenlänge) und hat damit ein angenähertes Maass für die maximale mit einem Apparate erreichbare Sekundärspannung. Für die Grösse der Leistung eines Induktors sagt natürlich die „Funkenlänge“ ebensowenig aus, wie die Angabe der Seitenlänge über den Flächeninhalt eines Rechteckes. Es müsste noch hinzutreten die Angabe über die Intensität der Entladung und über ihre Frequenz. Um über die Brauchbarkeit eines Instrumentes mit grosser „Funkenlänge“ überdies noch etwas auszusagen, müsste man ausser all' dem noch über die Spannung (Schlagweite) der Schliessungsinduktions-Entladung orientiert sein, denn nur auf die Differenz kommt es an. Andere wichtige technische Momente sind die Arten der Isolierungen und die Dimensionierungen der primären und sekundären Drähte und des Eisenkerns. Auf Grund der reichen in der Wechselstromtransformatorentechnik gewonnenen Erfahrung hat hauptsächlich Boas hier erfolgreich gearbeitet. Die Dielectricitätskonstante des Isoliermaterials der Sekundärspule, ihre Einbettung in eine ganz luftfreie Hülle, ihre Unterteilung, die Entfernung der Spulen (mit Rücksicht auf die Streuung) sind einige von diesen Momenten.

Der magnetischen Trägheit (Hysteresis) des Eisens wegen, darf die Masse desselben nicht zu gross, wegen Erreichung eines genügend starken Feldes nicht zu klein sein. Die Sättigung und die Wirbelstrombildung kommen in Frage.

Ausserordentlich kompliziert werden die Induktionsvorgänge noch dadurch, dass ein sekundärer Induktionsstrom, sobald er zu stande kommt, ein magnetisches Feld von rasch sich ändernder Stärke hervorbringt und der Sekundärspule selbst wie auch besonders der primären Spule Ströme induziert. Diese Ströme fallen zeitlich teilweise noch in den primären Anstieg und Abfall des Feldes und beeinträchtigen die einfachen vorher entwickelten Abhängigkeitsverhältnisse. Auf diese Störungen noch einzugehen, kann nicht Zweck der Abhandlung sein. Erwähnt sei nur, dass sie mit zunehmender sekundärer Windungszahl stärker werden. Wir gewinnen für das Arbeiten mit dem Röntgenapparat aus der Diskussion der obigen 3 Momente ein völlig zureichendes Bild über die Vorgänge, die Beurteilung, die Konstruktion und insbesondere auch die angewendete Reguliermethode zur Variierung der Leistung der Apparate und der Menge der erzeugten X-Strahlen.

60) Verbesserung des Verhältnisses zwischen Schliessungs- und Oeffnungsinduktionsspannung.

Schliessungs- und Oeffnungsinduktion sind proportional der sekundären Windungsanzahl. Durch Steigerung dieser Anzahl wird das Verhältnis beider nicht vergrössert. Es wird nur dann günstiger, wird nur grösser, wenn die Kurven der sie erzeugenden magnetischen Feldänderung verschiedener, die der Stromöffnung steiler, die des Stromschlusses flacher werden.

Die Selbstinduktion wirkt in beiden Fällen gleich. Durch Vergrösserung der Selbstinduktion wird die Schliessungskurve flacher, aber zugleich auch die Oeffnungskurve, die Spannung in beiden Fällen reduziert.

Will man also durch die Variation des Selbstinduktionscoefficienten der Primärspule die sekundäre Induktionswirkung regulieren, so ändert man sowohl Schliessungs- wie Oeffnungsinduktion und die Differenz bleibt dieselbe. Eine nützliche Vergrösserung der Differenz findet nur dann statt, wenn mit der Erhöhung des Selbstinduktionscoefficienten eine erhöhte Ableitung für den Oeffnungs-Extrastrom geschaffen wird — also z. B. durch Anwendung eines grösseren Kondensators.

Bei Apparaten mit Electrolyt-Unterbrechern tritt dieser selbst an Stelle des Kondensators. Für die Capacitätsveränderung kann ein eigentliches Aequivalent nicht eintreten, möglicherweise (?) tritt sie von selbst durch Veränderung der Unterbrechungsblase ein.

a. Durch Regulierung des Selbstinduktionscoefficienten.

Die Regulierung der Selbstinduktion ist auf verschiedene Weise, möglich: Durch Variation des magnetischen Momentes der Eisenmasse, die Dr. Freund, Wien dem Verfasser schon lange vorschlug, die zweifellos auch praktisch möglich und wirksam wäre. Ferner durch Regulierung der primären Windungszahl (Walter).

Wird die primäre Windungszahl zur Vergrösserung des Selbstinduktionscoefficienten (vergl. 42, 43, 55) erhöht, so wird damit zugleich der Ohm'sche Widerstand vergrössert. Die Schliessungsinduktion nimmt ab, zugleich auch (die Feldstärke und damit aus beiden Gründen) die Oeffnungsinduktion. Wesentliche Vorteile hat diese Art der Regulierung demnach zunächst nicht.

b. Durch Regulierung der primären Stromstärke.

Eine Regulierung der primären Ampèrezahl (durch Veränderung des Ohm'schen Widerstandes oder der Primärspannung) ist ebenso möglich. Wird der Ohm'sche Widerstand vergrössert, so wird die Kurve des Stromschlusses flacher, die sekundäre Schliessungsinduktion nimmt ab. Zugleich wird auch die sekundäre Unterbrechungsspannung geringer.

Es giebt also keine wirklich wirksame Methode, die Differenz der Spannungen gross zu machen. Reguliert man den Selbstinduktionscoefficienten, so hat dies einen kleinen, allerdings praktisch nicht wahrnehmbaren Nutzen (er ist so klein, weil gleichzeitig Oeffnungsinduktion und Feldstärke fast ebenso stark beeinflusst werden), dafür nimmt man die Nachteile in den Kauf, bei Verwendung mechanischer Unterbrecher, bei jeder Aenderung des Selbstinduktionscoefficienten die Capacität regulieren zu müssen, weil sonst die Regulierung vollständig wirkungslos auf die Differenz ist.

Bei electrolytischen Unterbrechern ist die Wirkung noch problematischer. Beim gewöhnlichen Electrolyt-Unterbrecher besteht eine Beziehung zwischen Selbstinduktion und Berührungsfläche der Anode mit der Säure. Je kleiner die Selbstinduktion ist, desto grösser muss die Berührungfläche sein. Mit der wachsenden Berührungsfläche verlangsamt, mit der verringerten beschleunigt sich die Unterbrechungszahl. Aendert man die Selbstinduktion, so muss damit die Berührungsfläche des Unterbrechers geändert werden. Eine rasche und bequeme Regulierung erfordert die Benutzung von mehreren Unterbrechern mit verschiedener Stiftlänge. Diese Umständlichkeiten und die mit der Verteuerung Hand in Hand gehende Komplikation compensiert die geschaffene äussert minimale ermöglichte Differenzvergrösserung durchaus.

Die Frage kann nun auf andere, äusserst einfache Weise viel vollkommener gelöst werden, und hängt wesentlich davon ab, wie hoch die sekundäre Oeffnungsspannung für die Erzeugung der X-Strahlen gewählt wird (vergl. 35b).

61) Fortsetzung. Günstige Grösse der sekundären Oeffnungsspannung.

Für die Wahl der maximalen sekundären Oeffnungsspannung sind folgende Ueberlegungen massgebend.

Die Röhre repräsentiert einen sehr bedeutenden Widerstand, dessen Höhe mit der Durchdringungsfähigkeit der X-Strahlen wächst. Für die Durchleuchtung und Aufnahme des menschlichen Körpers giebt es eine maximale Durchdringungsfähigkeit der Strahlen.

Steigert man den Widerstand der Röhre über dieses Maass hinaus (Härte), so werden auch die Knochen durchstrahlt und geben keine guten Kontraste dem Fleisch gegenüber. Rascher als die Durchdringungsfähigkeit wächst, nimmt auch die zur Geltung kommende chemische Wirksamkeit ab. Hierzu kommt noch, dass die Menge der erzeugten X-Strahlen mit dem zunehmenden Widerstande (Härtegrade) abnimmt.

Endlich erzeugen (vergl. auch in diesem Buche, Wiesner „Ueber Blende und Blendenaufnahmen") X-Strahlen überall, wo sie auf Körper treffen, störende Sekundärerscheinungen, und zwar in einem um so höheren Grade, je mehr ihre Durchdringungsfähigkeit zunimmt.

62) Intensität (58) des die Röhre passierenden Stromes, Widerstand des gesamten Sekundärkreises. Maximum der Schlagweite.

Man muss also im Röntgenverfahren aus all' diesen Gründen die Durchdringungsfähigkeit der Strahlen nicht höher wählen, als unbedingt nötig. Die obere Grenze bilden die Strahlen, welche noch durch die stärksten Partien des menschlichen Körpers hindurchgehen (und deren chemische Wirkung schon ausserordentlich gering ist). Im grossen Ganzen entspricht dieser Durchdringungsfähigkeit der X-Strahlen ein gewisser Widerstand (Härte der Röntgenstrahlen), der sich mit dem Widerstande einer Luftstrecke von ca. 10—14 cm Länge vergleichen lässt.

Es kommt nun lediglich auf die Intensität und Frequenz der Entladungen an, welche die Röhre psssieren, ob die X-Strahlen reichlicher oder spärlicher auftreten. Man hat daher die Schlagweite nur dann über das gegebene Maass zu erhöhen, wenn es zur Erfüllung von Forderung 2 oder 3 dienlich ist.

Die Intensität des Entladungsstosses hängt ab von der an den Induktorklemmen erzeugten Potentialdifferenz (Klemmenspannung) und dem gesamten im sekundären Schliessungskreis liegenden Widerstand. Der äussere Widerstand des Schliessungskreises ist die Röntgenröhre, bei der uns alle Gründe veranlassen, den Widerstand möglichst zu reduzieren. Der innere Widerstand (vergl. 6c) ist die Sekundärspule des Induktors.

Der Widerstand der Röntgenröhre ist technischen Messmethoden nicht zugänglich. Er ist sehr gross. Der Widerstand der Sekundärspule ist gleichfalls sehr bedeutend, da sie aus sehr langem (20—50 Kilometer und mehr), äusserst feinem Draht besteht. Der Widerstand ist aber noch grösser, als aus diesen Dimensionen hervorgeht, da nicht der Ohm'sche, sondern der Impedanz-Widerstand in Frage kommt (vergl. 43).

Verdoppelt man die sekundäre Windungszahl, so verdoppelt sich die induzierte Spannung, der innere Widerstand wird aber mehr wie verdoppelt, da die Windungsweite zunimmt und der Ohm'sche Widerstand mit der Länge des Drahtes, die Spannung nur mit der Windungszahl wächst. So lange der innere Widerstand des Induktors gegenüber dem der Röhre beträchtlich ist, nimmt die Intensität des Stromes in der Röhre nur mässig oder garnicht zu, wenn man die sekundäre Windungszahl erhöht. Sie kann sogar abnehmen, da der innere Widerstand bei Vergrösserung der Windungszahl rascher wächst als die Klemmspannung.

Umgekehrt kann man die Entladungsintensität des Induktors sehr beträchtlich steigern, wenn man den inneren (Impedanz-) Widerstand der Sekundärspule reduziert, so durch Wahl stärkeren Sekundärdrahtes.

Ist dagegen der Widerstand der Röntgenspule sehr gross, so wird die Intensität des Stromes bei Vermehrung der Klemmspannung gesteigert. Dies kommt in Frage, wenn es gilt, dicke Metallplatten zu durchleuchten. Hier ist es zweckmässig, Induktoren von grosser „Schlagweite" zu verwenden.

Für die Durchleuchtung des menschlichen Körpers ist eine sekundäre Schlagweite erforderlich, die genügt, der „härtesten" für die Aufnahme des Menschen benutzbaren Röntgenröhre event. unter Reduzierung des inneren Widerstandes der Sekundärspule intensive Entladungen zuzuführen. Ist das Induktorium hierzu imstande, so kommt für die praktische Ausführung des Verfahrens nur noch die durch Uebung angeeignete Fertigkeit der Bildherstellung (Einstellen, Lagerung, Exposition, Entwickeln) in Frage. Auf die Bildqualität selbst übt der Apparat keinen Einfluss mehr aus.

Diese geforderte „Schlagweite" kann je nach der Grösse des sekundären Widerstandes 8—25 cm betragen. Darüber hinauszugehen bringt zunächst keinen Vorteil.

Erhöht man die Spannung dennoch durch Vermehrung der sekundären Windungszahl, so erhöht man damit auch die sekundäre Schliessungsinduktion. 63) Fortsetzung v. 61 u. 62.

Der Widerstand der benutzten weichen Röntgenröhre bleibe konstant und relativ gering. Sie werde von 2 Induktoren betrieben, deren einer die doppelte Sekundärspannung (Schliessungs- und Oeffnungsspannung) besitzt wie der andere, während bei letzterem die Intensität der Entladung durch Reduktion des sekundären Widerstandes möglichst vergrössert ist, so dass die Intensität des Stromes in der Röhre bei der Unterbrechung annähernd beidesmal gleich ist. Die Intensität des schädlichen Schliessungsinduktionsstromes ist, da seine Spannung im zweiten Falle die halbe ist, im Verhältnisse zu dem relativ grossen Widerstande der Röhre gering, im ersten Falle, wo

seine Spannung die doppelte ist im Verhältnis zum relativ kleineren Widerstande der Röhre gross.

Im Interesse einer möglichst wenig schädlichen Wirkung der Schliessungsinduktion ist also die Klemmspannung so gering wie möglich zu nehmen.

Hierdurch ist eine äusserst einfache Lösung der Frage der Differenz der Schliessungs- und Oeffnungsspannung gegeben (vergl. 58).

64) Fortsetzung. Die Regulier-methoden in Bezug auf die 1. Forderung.

Benutzt man ein Induktorium geringer „Schlagweite", so ist der Wert der Schliessungs-Induktion nie bedenklich gross. Die Regulierung des Röntgenapparates kann ohne weiteres einfach durch Regulierung der Ampèrezahl geschehen. Hierdurch wird die Feldstärke geregelt und damit die Spannung des Oeffnungsstosses. Benutzt man Induktoren grosser „Funkenlänge", so ist die Regulierung der Spannungsdifferenz durch Variation des Selbstinduktionscoefficienten ein gangbarer, wenn auch bei geringer Wirksamkeit und grosser Komplikation sehr wenig empfehlenswerter Weg. Der Schädlichkeit der Schliessungsinduktion wird wesentlich erfolgreicher begegnet durch Reduzierung der sekundären Windungszahl, wobei eine Regulierung der Ampèrezahl im Primärkreise vollkommen ausreicht.

65) Die Bedeutung des Unterbrechers in dieser Beziehung und in der Induktorkonstruktion.

Diese Reguliermethode hat die Voraussetzung der Benutzung eines Unterbrechers, der mit verschiedenen Stromstärken gut arbeitet. Die mechanischen Unterbrecher erfüllen diese Bedingung. Der electrolytische Unterbrecher in seiner gewöhnlichen Form arbeitete mit geringen Stromstärken nur, wenn der Selbstinduktionscoefficient gross war. Die nach meinen Angaben vom Electrotechnischen Laboratorium Aschaffenburg gebauten electrolytischen Unterbrecher arbeiten mit sehr verschiedenen Stromstärken gleichmässig gut und gewährleisten mit den dazu gebauten Induktoren eine Regulierung von der höchsten bis zur niedrigsten praktisch in Frage kommenden Leistungsstufe.

Die Konstruktion eines Induktoriums von diesem Gesichtspunkte aus ergiebt einen konstanten grossen Selbstinduktionswert der Primärspule als Optimum. Dieser Wert wird durch die übrigen Bestimmungsstücke festgelegt, denn für jeden Transformator ergiebt sich aus der beabsichtigten Leistung, Spannung, Frequenz eine Dimensionierung des Eisens und der Windungszahl als die beste. Diese kann man hier einhalten.

Wohl die Intensität der Einzelentladung, nicht aber die Differenz zwischen Schliessungs- und Oeffnungsspannung können wir beim Röntgenapparat auf einfache Weise regulieren. Dagegen hat die Art der Unterbrecher auf diese Differenz einen wesentlichen Einfluss.

66) Einschaltung. Die Unterbrecher und ihre Bedeutung für den Stromverlauf.

Es sei hier einiges über die Unterbrecher eingefügt. Am richtigsten ist ihre Einteilung nach den Stoffen, zwischen denen der Strom geöffnet und geschlossen wird, in Platin-, Quecksilber- und Electrolyt-Unterbrecher. Bei den ersten findet Kontakt und Unterbrechung zwischen 2 Platinstücken durch Berührung und Entfernung statt. Die zweite Gruppe ist durch Verwendung von Quecksilber gekennzeichnet, in das ein Metallstift eingetaucht zur Bildung des Kontaktes oder mit dem aneinander vorbeischleifende unterteilte Metallflächen amalgamiert sind.

Auch Typen, bei denen ein feiner Quecksilberstrahl gegen einen Kontaktkranz während der Rotation geschleudert wird, sind (hauptsächlich nach Boas) in Gebrauch.

Die Schliessungsinduktion ist beim Platin-Unterbrecher am geringsten. Er ist in Bezug auf die erste Forderung der vollkommenste Unterbrecher. Die Stromschlusskurve steigt langsam an, die Unterbrechungskurve fällt rapid ab. Der Platinunterbrecher arbeitet jedoch ungünstig, wenn er Ströme von grösserer Stärke (ca. 8—9 Amp.) unterbrechen soll, weil sich seine Kontaktflächen dann zu sehr erhitzen. Für Röntgenapparate, die keinen höheren Stromverbrauch haben und mit Batterie-Betrieb arbeiten (bis 36 Volt), ist er sehr empfehlenswert.

Die Quecksilberunterbrecher zeigen eine schon erheblich geringere Differenz der Schliessungs- und Unterbrechungsinduktionsspannung. Ihre Anwendung ist für den ärztlichen Röntgenapparat wegen der mit ihrem Betriebe verbundenen Unreinlichkeit nur in Ausnahmefällen zu empfehlen.

Die Electrolyt-Unterbrecher (von Wehnelt 1900 erfunden) beruhen auf Verdampfung eines electrolytischen Leiters (mit Wasser verdünnte Schwefelsäure von 1,17 spec. Gewicht) durch Stromwärme bei Durchgang eines Stromes von 40—250 Volt Spannung. (Näheres findet sich in den Katalogen der einzelnen Firmen.) Bei ihnen ist die Schliessungsinduktion am grössten, sie sind infolgedessen der den Röhren am wenigsten zuträgliche Unterbrechertyp.*)

Steht electrische Lichtleitung zur Verfügung, so werden wir ihn doch nie entbehren wollen, denn er ist unübertrefflich hinsichtlich der Unterbrechung starker Ströme, giebt unvergleichlich intensive Entladungen und eine ausserordentliche Frequenz.

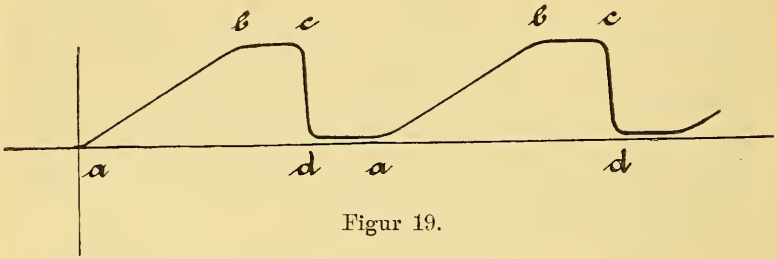
Die Differenz der Oeffnungs- und Schliessungsinduktionsspannung ist also beim Platinunterbrecher am grössten, beim Electrolyt am geringsten. Dagegen lässt sich mit letzterem eine unvergleichliche Frequenz erreichen.

Die Frequenz (58), die Anzahl der Stromstösse, hängt vom Unterbrecher ab, wie vom Induktionsapparate selbst.

*) Die Stromstärke wächst mit der Zunahme der Berührungsfläche zwischen Anode und Säure. Gleichzeitig nimmt die Unterbrechungszahl ab.

67) Die Frequenz der die Röhre passierenden Ströme. — Seine Phasen.

Der Verlauf einer Periode der Feldstärkeänderung setzt sich zusammen aus der ansteigenden Phase nach dem Stromschluss, die solange dauert, bis der Primärstrom und nach ihm (infolge der Hysteresis) das Feld seinen maximalen Wert erreicht hat (a—b). Der Strom kann nach Erreichung des Maximalwertes eine Zeit lang konstant bleiben (b—c). Dann kommt der Abfall (c—d), der nicht ganz die Nullinie erreicht, weil sich das Eisen nicht vollständig entmagnetisiert, sondern eine Quantität „Magnetismus“ zurückbleibt. Die Strecke (d—a) stellt die Zeit bis zum nächsten Stromschlusse dar.



Figur 19.

Soll nun die Frequenz erhöht werden, so bleibt für die einzelnen Phasen der Kurve eine immer kleinere Zeit. Sie werden dichter aneinanderrücken und rascher verlaufen. Der Anstieg des Stromes soll nun nicht rascher verlaufen, weil sonst (55 b) die Schliessungsinduktion wächst. Nach Erreichung der maximalen Feldstärke sollte die Unterbrechung sofort erfolgen, die Strecke (b—c) also so klein wie möglich sein. Der Abfall (c—d) soll steil sein, kurz dauern und, nachdem er vor sich gegangen, soll der neue Stromschluss unverzüglich eintreten (d—a), möglichst klein sein.

68) Die Abhängigkeit der Frequenz vom Unterbrecher

Diese Bedingungen fallen zusammen unter den Sammelbegriff der möglichst grossen Frequenz. Der Platinunterbrecher giebt einen sehr langsamen (vorteilhaften) Anstieg ab, unterbricht auch ziemlich rasch bei Erreichung eines entsprechenden Feldes, wenn seine Federlänge und Stärke, sein Ankergewicht vom Konstrukteur zur Feldstärke gut abgeglichen ist. Er giebt sodann einen rapiden Abfall c d, braucht aber sehr lange Zeit bis zum neuen Stromschluss. Diesem letzten, seiner Frequenz Eintrag thuenden Umstand sucht der Verfasser durch einen Platinschnellunterbrecher abzuhelfen.

Der Quecksilberunterbrecher, soweit er direkt vom Magnetismus des Induktoreisenkernes abhängt, ist viel zu schwerfällig, als

dass er der Frequenzforderung einigermassen gerecht werden könnte. Die Strecke d e und meist auch die Strecke b c ist sehr lang. — Die mechanisch angetriebenen Formen bedürfen einer praktisch schwer durchführbaren, feinen Regulierung (Abstimmung).

Der Electrolytunterbrecher ist nicht nur imstande, viel stärkere Ströme, als alle anderen Unterbrecherformen zu unterbrechen, sondern seine Frequenz ist ausserordentlich viel grösser als die aller andern. Einen Nachteil freilich muss man, wie eben erwähnt, mit in den Kauf nehmen, der Anstieg der Kurve ist steiler als bei den übrigen, die Differenz zwischen Oeffnungs- und Schliessungsinduktionsspannung daher geringer. (Dies fällt bei einer Induktorkonstruktion mit reduzierter sekundärer Windungszahl und Regelung der primären Ampèrezahl, wie oben erwähnt, nur wenig ins Gewicht.) Die Strecke b c ist — wenn der Unterbrecher richtig konstruiert und die Berührungsfläche zwischen Stift und Säure nicht zu gross ist — klein, der Abfall rapid und der neue Stromschluss erfolgt äusserst rasch. Hier sind die einzelnen Phasen verkürzt und die aktiven, induzierenden Phasen a b, c d äusserst nahe aneinander gerückt.

Die Frequenzen der Unterbrecher, soweit sie von ihnen abhängig sind, verhalten sich etwa beim

gewöhnlichen Platinunterbrecher	wie	30
modifizierten „	zu	60
Quecksilber-Hammer und Motor-Unterbr.	„	15
Turbinen und Quecksilberstahl- „	„	70
Wehnelt	„	500 und
modifizierten Wehnelt etwa	„	500.

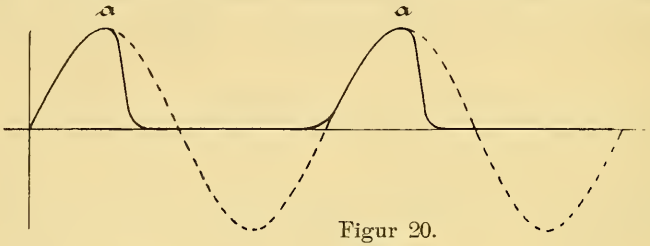
Die Frequenz hängt, sobald sie eine höhere Stufe erreicht, nicht mehr vom Unterbrecher allein, sondern in hohem Grade vom Induktor ab. Je grösser der Selbstinduktionscoefficient (die magnetische Feldträgheit) ist, desto langsamer ist Anstieg und Abfall. Eine höhere sekundäre Windungszahl erfordert ein starkes Feld (grosse Eisenmengen) und nach dem Satze von der Aequivalenz der Kupfergewichte grosse primäre Windungszahl. Hierdurch ist der Selbstinduktionscoefficient gesteigert und die Frequenz nicht mehr steigerbar. Je grösser also die sekundäre Windungszahl, die „Funkenlänge", desto geringer die mögliche Frequenz bei Benutzung von rasch arbeitenden Unterbrechern.

69) und vom Induktor.

Mit anderen Worten: Je mehr der Induktor eine Steigerung der Frequenz zulassen soll, desto geringer muss der Selbstinduktionscoefficient sein. Bei einer derartigen Anordnung wird ausser einer Höchstleistung auch eine bedeutende Schonung des Röhrenmaterials bei richtiger Dimensionierung der Primärspule erreicht.

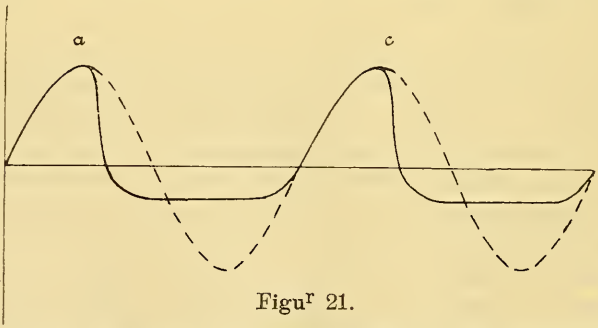
70) Betrieb des Röntgenapparates mit primärem Wechselstrom (vergleiche II).

Angeführt seien noch einige Bemerkungen über den Betrieb eines Röntgenapparates mit primärem Wechselstrom. Ohne weiteres ist der Wechselstrom nicht benutzbar, weil der Kurvenanstieg und



Figur 20.

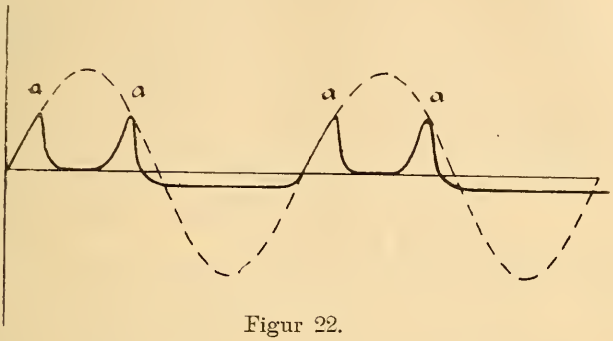
Abfall zu flach, die induzierte Spannung zu gering und bei Anstieg und Abfall gleich ist. Man kann den Wechselstrom benutzen, indem man einen Unterbrecher benutzt, der jedesmal am nämlichen Punkt a unterbricht und rapide Abfälle im gleichen Sinne (a, a . .) hervorbringt (Boas'scher Synchron-Turbinen-Unterbrecher) oder bei Anwendung eines electrolytischen Unterbrechers. Der electrolytische Unterbrecher lässt nur die eine Periodenhälfte passieren, während er die andere abdrosselt. (Der Strom passiert in voller Stärke auf Grund eines electrolytischen Gesetzes nur, wenn der Anodenstift mit kleiner Oberfläche positiv, die Bleikathode mit grosser Oberfläche negativ ist.) Im Kulminationspunkt der einen Periodenhälfte (a, c), Fig. 21, oder in der Nähe desselben erfolgt die Unterbrechung.



Figur 21.

Die Frequenz ist dabei an die Periodenzahl des Wechselstromes

gebunden und nur in engen Grenzen regulierbar, indem bei geringer Feldstärke in einer Periode auch 2—3 Unterbrechungen erfolgen können. (Fig. 22.) Der in umgekehrter Richtung während der



Figur 22.

2. Periodenhälfte fliessende Strom wird nicht genug unterdrückt und greift das Platin der Anode an, so dass man mit einem Platin-Verbrauch von 2 bis 5 Pfennig pro Aufnahme zu rechnen hat. Die Bilder verlieren etwas an Klarheit. Für nicht allzu starke Beanspruchung des Apparates ist der Betrieb mit Wechselstrom und Electrolytunterbrecher brauchbar, wenn der Induktor keinen zu grossen Selbstinduktionscoefficienten besitzt. In diesem Falle tritt nämlich eine starke Phasenverschiebung ein, welche die Wirkung beeinträchtigt. Man muss also hier Induktoren von geringer sekundärer Windungszahl benutzen. — Bei sehr angestrengtem Betrieb ist die Verwenduug eines Wechselstrom-Gleichstrom-Umformers vorzuziehen.

Die Leistung eines Induktors mit grosser Frequenz kann also sehr gut die Leistung eines solchen von grossem Kupfer- und Eisen-Gewicht übersteigen. Kriterium hierfür ist lediglich Prüfung der erzeugten Bildhelligkeit und Abnutzung der Röhre.

71) Schluss-Resumé.

Für den rationellen Betrieb eines Röntgenappates ergeben sich aus Allem folgende Regeln.

Man benutze Röhren, die nicht Strahlen von grösserer Durchdringungskraft, als sie eben sein muss, liefern. (Erhöhte Strahlenmenge, erhöhte chemische Wirkung, reduzierte Sekundärstrahlenbildung.)

Diese Röhren betreibt man mit Induktoren, die keine grössere Schlagweite besitzen, als sie eben sein muss, um das Maximum der Leistung aus der härtesten noch verwendbaren Röhre zu erhalten.

Dann hat man Garantie für die grösste Schonung des Materials durch Reduzierung der Wirkung der Schliessungsinduktion.

Diese Induktoren reguliert man durch Veränderung der primären Ampèrezahl in den weitesten Grenzen unter Voraussetzung eines Unterbrechers, der für die verschiedenen Ampèrezahlen gut funktioniert (bei Batteriebetrieb Platinunterbrecher oder Quecksilber-Turbine, bei Anschlussstrom Electrolyt-Unterbrecher).

Man reguliert den Strom immer so schwach, als er sein kann, damit man noch durchleuchten und wahrnehmen kann, was man will; man belaste also die Röntgenröhren so wenig wie möglich, exponiere bei Aufnahmen lieber etwas länger, zur grösseren Schonung und besseren Ausnützung des Materials.

Die Frequenz der Unterbrechung steigert man bis zu dem Höhegrade, der durch den Apparat selbst gegeben ist, d. h. man hält ein vor dem bemerkbar werdenden Nachlassen der Gesamtwirkung wegen der reduzierten Intensität der Einzelentladung (weil die Feldstärke bei einem bestimmten Frequenzmaximum zurückgeht.) Man benutze Induktoren, die eine möglichst grosse Frequenz ohne Nachlassen der Wirkung erlauben, bei denen diese Grenze mit der Leistung des zu verwendenden Unterbrechers übereinstimmt.

D.

Die Vorgänge in der Röntgenröhre.

72) Der Ausgleich der hochgespannten Induktionsstösse in der Luft

In der Luft gleichen sich die Entladungen hochgespannter Electricität in Form langgestreckter leuchtender Funken aus. Die Intensität der Funkenschläge lässt sich einigermassen aus Form und Farbe dieser Funken schliessen. Die dunkelblaue Farbe lässt auf geringere Intensität schliessen, während leuchtendblau, weissliche und rote, starke, raupenförmige Entladungen grössere Intensitäten anzeigen.

Bei Frequenzen von 6– 30 Unterbrechungen und ihnen entsprechenden Entladungen in der Sekunde sind die einzelnen Funken mit dem Auge noch gut zu verfolgen; bei grösseren Frequenzen

gehen sie in Funkenbänder oder Funkenregen über. Bei weiter gesteigerter Anzahl der Stromausgleiche vereinigen sich intensive Entladungen zu dem sogenannten Flammenbogen, der sausend oder pfeifend zwischen den Polen des Induktoriums übergeht. Dieser Flammenbogen lässt jedenfalls auf grosse Frequenz und Intensität des Stromes schliessen und wird wohl nur von den electrolytischen Unterbrechern erreicht.

Diese Entladungen hochgespannter Electricität sind samt und sonders schmerzhaft, und zwar nimmt ihre Schmerzhaftigkeit mit Spannnng, Intensität und Frequenz zu. Die Entladung eines Funkeninduktors von grosser Schlagweite kann, wenn der Körper beide Pole berührt, gefährlich, ja tötlich verlaufen.

Sofort ändert sich jedoch die Entladungserscheinung, wenn diese Ströme nicht mehr bei atmosphärischem Drucke, sondern in mehr oder weniger evakuierten Räumen vor sich gehen. 73) und im Vakuum.

Der Luftdruck wird gemessen durch die Höhe einer Quecksilbersäule, deren Schwere er äquivalent ist. (Barometer.) Der atmosphärische normale Luftdruck beträgt ca. 760 mm.

Zur Untersuchung der Entladungen dienen Glasröhren, in denen metallische Leiter, Electroden, eingeschmolzen sind. (Fig. 23.)

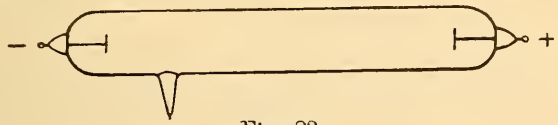


Fig. 23.

Die mit dem positiven Pole des Induktoriums verbundene Electrode heisst Anode, die mit der negativen Electrode verbundene Kathode.

Wird der Luftdruck durch Evakuieren geringer, so sinkt der Widertand, den die Luftstrecke bietet, die Funken überbrücken einen grösseren und immer grösseren Raum. Allmählich beginnen sie sich zu verbreitern und in Lichtbänder überzugehen.

Bei immer abnehmendem Luftdruck — etwa noch 5 mm Quecksilbersäule entsprechend — stellt sich das Phänomen des Geisslerlichtes ein. Von der Anode geht ein eigentümlich geschichtetes, bläuliches Licht zur Kathode, jedoch nicht ganz bis zu ihr heran. Die Kathode ist mit bläulichem Glimmlicht umgeben.

Wächst das Vakuum immer weiter, so weicht das Geisslerlicht mehr und mehr von der Kathode zurück. Vor dieser entsteht

ein dunkler Raum, der allmählich einen immer grösseren Teil der Röhre ausfüllt und das Geisslerlicht immer weiter zurückdrängt.

74) Fortsetzung. Auftreten der Kathodenstrahlen.

Endlich ist dieses fast ganz verschwunden und nun zeigen die Glaswände, die der Kathode gegenüberliegen, eine Fluorescenz, die nach der Natur des Glases manchmal blaue, meist aber grünliche Färbung besitzt. Als Ursache dieser Erscheinung wurde eine von der Kathode ausgehende Strahlenart, die Kathodenstrahlen, erkannt.

Die Kathodenstrahlen sind eines der interessantesten Phänomene der Electrophysik, ja der Physik überhaupt. Wohl keine Erscheinung hat in solchem Masse die Aufmerksamkeit der Forscher auf sich gezogen, keine verhältnismässig so reiche litterarische Behandlung gefunden wie sie.

75) Eigenschaften der Kathodenstrahlen.

Von den Eigenschaften der Kathodenstrahlen interessieren uns hier ausser der Fluorescenzwirkung nur folgende.

Die Strahlen pflanzen sich senkrecht von ihrem Ausgangspunkte aus fort, können durch magnetische Anziehung abgelenkt werden, um so weniger, je höher das Vakuum*) ist, bei dem sie auftreten. Endlich erzeugen bei hohem Vakuum entstandene Kathodenstrahlen bei ihrem Auftreffen auf andere, spezifisch dichte Körper etwas ganz Neues, eine gänzlich neue Wirkung, die man auch wieder „Strahlen“ nannte, die Röntgenstrahlen.

76) Wesen der Kathodenstrahlen. Dissociationstheorie.

Ueber das Wesen der Kathodenstrahlen besitzen wir eine sichere Vorstellung heute noch nicht. Wahrscheinlich handelt es sich nicht um Strahlen, sondern um einen Dissociationsvorgang, um Bildung von Jonen in dem verdünnten Gase als Elektrolyten.

Die Dissociationstheorie ist Grundlage unserer heutigen Electrochemie. Nach dieser Theorie hat man sich vorzustellen, dass die Atome nicht die kleinsten Substituten der Körper sind, sondern wiederum in allerkleinste Körperchen zerfallen, die zugleich die Träger der Einheit der Electricitätsmenge sind, in sogenannte Electronen. Solcher Electronen besitzen die Atome gleichviel positive und negative, so dass Wirkungen sich gegenseitig aufheben, sie also nicht electrisch geladen erscheinen. Durch irgend eine Ursache kann nun ein Electron, und zwar ein negatives, frei werden und vermöge seiner Ladung wandern. Dann heisst es Jon (ἰέναι gehen), und zwar Anion, wenn es vermöge seiner negativen Ladung zur Anode hinwandert (ἀνὰ und ἰέναι); Kation mit einer überschüssigen positiven Ladung heisst die übrigbleibende Electronengruppe des dissociierten Atoms.

*) Wobei nun auch der Widerstand der Röhre mit abnehmendem Luftdruck wieder zunimmt.

Die Kathodenstrahlen sind auf Grund der Dissociationshypothese negative kleinste Teilchen, negativ geladene Jonen, Anionen. Vermöge ihrer Ladung wandern sie senkrecht von ihrem Ausgangspunkte aus fort und erzeugen bei ihrem Auftreffen die X-Strahlen. 77) Die X-Strahlen. Wesen und Eigenschaften.

Das Wesen der X-Strahlen ist gleichfalls nicht bekannt. Sicher sind es keine Strahlen im Sinne von Wärme und Licht, also im Sinne der Undulationstheorie. Vielleicht sind es Jonen, die, beim Auftreten ihrer Ladung entkleidet, ins Freie hinaustreten.

Die Eigenschaften der sogenannten X-Strahlen, die sich also zu Kathodenstrahlen wie Wirkung zur Ursache verhalten, sind folgende:

Unsichtbar, durchdringen sie alle Körper, und zwar im umgekehrten Verhältnis von deren Atomgewicht und Dichte. Also, je dichter, spezifisch schwerer ein Körper ist, desto mehr absorbiert er die X-Strahlen, desto weniger wird er von ihnen durchdrungen.

Die X-Strahlen besitzen eine chemische Wirkung, bringen gewisse mineralische Salze, wie wolframsaures Calcium, Kalium- und Bariumplatincyanür zur Fluoreszens, bringen analoge Wirkungen auf Bromsilber (Jod- und Chlorsilber) photographischer Platten hervor wie das Licht.

Sie sind nicht, wie Strahlen, in Linsen sammelbar oder gesetzmässig reflektierbar. Dagegen erleiden sie in den Körpern, die sie durchdringen, eine starke Diffusion. Ja, diese Wirkung ist so bedeutend, dass man sie (Walter) als neue Strahlenbildung auffasst und den X-Strahlen die Wirkung zuschreibt, in den Molekülen der getroffenen Körper äusserst diffuse und divergente, sogenannte Sekundärstrahlen (S.-Strahlen) zu erzeugen.*)

Auf Kombination der ersteren Eigenschaften, Durchdringungsfähigkeit und chemischer Wirksamkeit beruht die medizinische Anwendung der Methode in Durchleuchtung und Aufnahme (vergl. II, 2.); dabei ist die Sekundärstrahlenbildung als störender Faktor möglichst zu beseitigen (vergl. II, 1 und 2 und III).

*) Vergleiche die Arbeiten des Verfassers in No. 9 und 10 der Zeitschrift f. Electrotherapie 1902 (Vogel & Kreienbrink), sowie die Arbeit von Dr. B. Wiesner und Dessauer in Heft 12 (Dezember 1901) derselben Zeitschrift.

78) Die Strahlenerzeuger (Röntgenröhren). Die frühere Form der Strahlenerzeuger, der Röntgenröhren entsprach Figur 24.

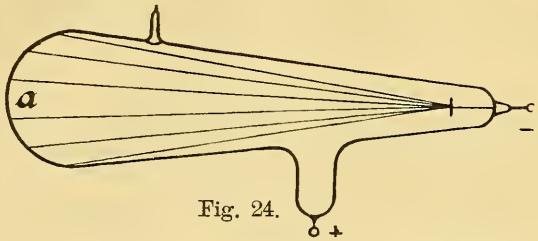


Fig. 24.

Die X-Strahlen gingen hierbei von der Glaswand a, die der Kathode gegenüberlag, aus und durchdrangen die Körper, um dann zu der photgraphischen Platte oder zum Durchleuchtungsschirme zu gelangen und dort die Dichtigkeitsverhältnisse zu projizieren.

79) Ueber Projektion. Es ist hier am Platze, einige kurze Bemerkungen über Projektion einzufügen. — Je nachdem die projizierenden Strahlen parallel zu einander verlaufen, oder alle von einem Punkte, dem Zentrum der Projektion, ausgehen, unterscheidet man Parallel- und Zentralprojektion. Für jene ist das Sonnenlicht das nächstliegende Beispiel, dessen Strahlen wir bei der grossen Entfernung ihres Ausgangspunktes als parallel auffassen. Der Schatten, den eine Kerze von einem Gegenstande entwirft, entspricht einer Zentralprojektion, mit der Kerze als Projektionszentrum.

Bei der Zentralprojektion ist das Bild des Gegenstandes stets vergrössert, und zwar umsomehr, je näher er dem Projektionszentrum liegt und je weiter er von der Projektionsebene entfernt ist.

80) Projektion mit X-Strahlen. Die Projektion mit X-Strahlen ist eine Zentralprojektion. Jeder Punkt, der von den Kathodenstrahlen getroffen wird, sendet X-Strahlen nach allen Richtungen aus, Radien, die von ihm wie vom Mittelpunkte einer Kugel ausgehen.

Bei der dargestellten Röhrenanordnung war nun jeder Punkt der von den Kathodenstrahlen betroffenen Glaswand Ausgangspunkt der X-Strahlen, Projektionszentrum, entwarf jeder Punkt vom abzubildenden Körper eine vollständige Projektion. Diese Bilder konnten sich nun nicht decken und es entstanden äusserst unscharfe, verschwommene Durchleuchtungen und Aufnahmen.

81) Die Strahlenerzeuger. Fortsetzung. Eine ideale Zentralprojektion verlangt, dass die Strahlen thatsächlich von einem Punkte ausgehen, und diese Thatsache und eine grosse Menge empirisch gesammelter Erfahrung gab Veran-

lassung zur Wahl der jetzt allgemein und ausschliesslich angenommenen Konstruktion der Röntgenröhre. (Fig. 25.)

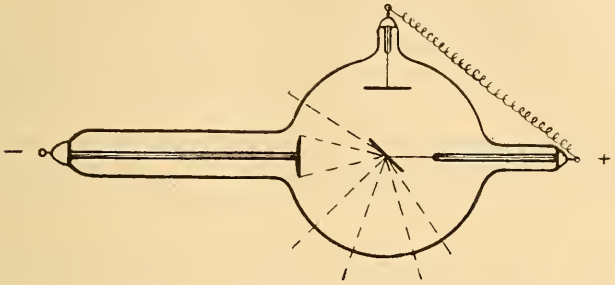


Fig. 25.

Als negative Electrode und Ausgangspunkt der Kathodenstrahlen dient ein Holspiegel, dessen Krümmungsmittelpunkt auf einer unter 45° zur Längsachse der Röhre geneigten Scheibe aus Platin, der sogenannten Antikathode, liegt. Die Kathodenstrahlen gehen senkrecht zu ihrem Ausgangspunkte fort und treffen in diesem Krümmungsmittelpunkte zusammen. Dieser Punkt, der (fälschlich) sogenannte Focus oder Brennpunkt der Antikathode ist der Ausgangspunkt der X-Strahlen, das Projektionszentrum. Von ihm aus, wie vom Mittelpunkt einer Halbkugel, gehen die X-Strahlen nach allen Richtungen. Der vor der Antikathodenscheibe liegende Teil der Halbkugel fluoresziert dabei grün.

Die Antikathode dient zugleich als positiver Pol, als Anode der Röhre. Aus empirischen Gründen giebt man der Röhre häufig noch eine zweite, eine sogenannte Hilfsanode, die mit der Antikathode in leitender Verbindung steht. Endlich besitzt jede Röhre noch einen Glasansatz da, wo bei ihrer Evakuation die Luftpumpe angesetzt war. Dieser abgeschmolzene Glasansatz ist naturgemäss der empfindlichste und zerbrechlichste Teil der Röhre.

82) Die X-Strahlen und die Röhren.

Beim Durchgang des Stromes durch eine Röhre ist Menge und Durchdringungsfähigkeit der erzeugten X-Strahlen, die Schärfe der entstehenden Projektion in hohem Masse von dem momentanen Zustand der Röhre und ihren konstruktiven Eigenschaften abhängig, und diese Verhältnisse kurz zu betrachten, ist die letzte Aufgabe des vorliegenden Kapitels.

83) Fortsetzung. Die Nebenwirkungen und die Widerstandskraft der Röhre.

Die auftreffenden Kathodenstrahlen bringen auf der Antikathode nicht nur Röntgenstrahlen, sondern auch andere Wirkungen und zwar Erwärmung und Zerstäubung, hervor, Nebenwirkungen, die störend und daher möglichst zu beseitigen oder in ihrer schädlichen Wirkung abzuschwächen sind. Diese schädlichen Ereignisse hängen sehr ab von der Art der die Röhre passierenden Entladung und nehmen vor allem dann überhand, wenn die Schliessungsinduktion (s. 55, 56 ff.) gross ist, wenn die Stromkurve erheblich von der in (45—46) festgelegten abweicht. Es liegt also hauptsächlich an der Konstruktion der Instrumentarien, die schädlichen Nebenwirkungen gering zu machen.

Aber auch ohne diese bringen die aufprallenden Kathodenstrahlen Wärme auf der Antikathode hervor. Wird der Antikathodenspiegel heiss oder gar hellrotglühend, so giebt er Gas ab und reduziert so das Vakuum der Röhre, unter Umständen derart, dass gar keine X-Strahlen, sondern Geisslerlicht auftritt. Zugleich zerstäubt das Metall der Antikathode, umsomehr, je heisser sie ist. Der Metallstaub schlägt sich an den Wänden nieder und occludiert beim Erkalten Gas, so dass das Vakuum in der Röhre höher wird, der Widerstand also wächst.

So ergiebt sich der konstruktive Gesichtspunkt, die Antikathode gegen Erwärmung möglichst widerstandsfähig zu machen, sei es, dass man sie mit dicken Metallklötzen aus Kupfer oder Eisen hinterlegt, in Wärme ableitende Hüllen einfügt oder ihre Rückwand durch Wasser kühlt. Alle diese Methoden sind anwendbar und angewendet. Jede giebt gewisse günstige Resultate. Ueber ihre Brauchbarkeit wird im II. Teile näheres zu finden sein.

84) Fortsetzung. Die Menge der erzeugbaren X-Strahlen.

Wenn thatsächlich die Bildung der Kathodenstrahlen und X-Strahlen auf einen Dissociationsvorgang zurückzuführen ist, so muss die Menge der in einer Röhre erzeugbaren X-Strahlen abhängen von der Menge der eingeschlossenen Gasatome, die dissociirt werden können. Das Vakuum und damit die Gasmenge in der Volumeinheit der Röhre ist nicht ohne weiteres zu verändern, denn die Entstehung der X-Strahlen und Kathodenstrahlen ist an ein bestimmtes Vakuum gebunden. Soll demnach die Menge der in einer Röhre erzeugbaren X-Strahlen möglichst gross sein, so muss das Volum der Röhre gross gewählt werden. Thatsächlich können in

Röhren um so mehr Strahlen erzeugt werden, je grösser ihr Volum ist.*)

85) Fortsetzung. Die Durchdringungsfähigkeit der X-Strahlen und die Röhre.

Die Durchdringungsfähigkeit der X-Strahlen hängt von der Röhre in hohem Grade ab, und zwar besteht zwischen dem Widerstande einer Röhre, ihrem Vakuum, der Menge und Durchdringungsfähigkeit der erzeugten Strahlen folgender, durch die Erfahrung gelehrter Zusammenhang.

Mit wachsendem Vakuum der Röhre nimmt ihr Widerstand zu. Zugleich wächst die Durchdringungsfähigkeit der Strahlen, während die Strahlenmenge abnimmt.

In einer Röhre entstehen beim Stromdurchgang nicht Strahlen eines einzigen bestimmten Grades von Durchdringungsfähigkeit; vielmehr sind die auftretenden Strahlen in dieser Beziehung verschieden, es werden gleichzeitig mehr und weniger durchdringungkräftige erzeugt. Dies ist auch für Erzeugung der überaus feinen Bilder, wie sie das Röntgenverfahren giebt und welche die detailliertesten Knochenstrukturen wiedergeben, durchaus nötig. Würden nur Strahlen einer bestimmten Durchdringungsfähigkeit erzeugt, so würde nur ein Kontrast der Bilder resultieren, entweder vollständige Absorption oder vollständige Durchstrahlung.

Die gleichzeitig auftretenden Strahlen liegen hinsichtlich ihrer Durchdringungsfähigkeit jedoch innerhalb gewisser Grenzen, und diese Grenzen werden hinaufgeschoben mit Zunahme des Vakuums der Röhre.

Die Grösse der Durchleuchtungsfähigkeit ist bei der Durchleuchtung des Menschen an die Grenzen geknüpft, die eben die Dicke der menschlichen Organe zieht. Strahlen, welche die Knochenpartien des menschlichen Thorax gut durchdringen, sind für unsere Untersuchungen schon nicht mehr geeignet, denn sie projicieren diese Knochenteile nicht mehr.

86) Fortsetzung. Einteilung der Röhren in Bezug auf die Qualität der erzeugten Strahlen.

Ein Bild, das alle Abstufungen vom Licht zum Schatten mit grösster Feinheit enthält, nennt der Photograph ein weiches Bild. Als hartes Bild wird dagegen ein solches bezeichnet, dass wohl die starken Kontraste und Umrisse hervortreten, feine Details in den Abstufungen dagegen vermissen lässt. Weiche Bilder eines Gegenstandes werden in der Radiographie erzeugt von Strahlengattungen,

(* Vergl. auch die Arbeit des Verfassers: „Ueber Röntgenröhren", Zeitschrift f. Electrotherapie Heft 9, 1902.

die eben noch hinreichende Durchdringungsfähigkeit besitzen, harte Bilder entstehen, wenn die Durchdringungsfähigkeit grösser als nötig gewählt wird.

Von diesen in der Photographie üblichen Bezeichnungsweisen hat man sich gewöhnt, solche Röhren weich zu nennen, die weniger durchdringungsfähige Strahlen erzeugen. Röhren, die durchdringungskräftigere X-Strahlen aussenden, heissen hart.

Scharfe Unterscheidung giebt es hierbei naturgemäss nicht. Die Qualitäten der Strahlen sind unendlich verschieden und gehen in unendlicher Feinheit ineinander über. Zugleich ergiebt sich mit Rücksicht auf die Bildqualität die Regel, immer möglichst „weiche" Röhren zu verwenden, solche, deren Strahlen eben noch hinreichende Durchdringungsfähigkeit besitzen, um den zu beobachtenden Körper zu durchleuchten oder zu radiographieren.

Der Härtegrad der Röhren nimmt also mit ihrem Vakuum zu. Weich sind Röhren, die noch verhältnismässig viel Gas enthalten.

Dies sind zugleich diejenigen, in denen die X-Strahlen am reichlichsten auftreten und die dem Strome den geringsten Widerstand entgegensetzen. Infolgedessen sind gerade diese Röhren den Schädlichkeiten der Schliessungsinduktion, der Erwärmung und Zerstäubung des Platins am meisten ausgesetzt.

87) Fortsetzung. Die Aenderung der Röhrenqualität.

Jede Röhre wird durch den Gebrauch härter. Das zerstäubte Metall schlägt sich an den Glaswänden nieder und occludiert beim Erkalten Gas.*) Dieses Gas kann wohl anfangs durch Erhitzung der Wände wieder teilweise frei gemacht werden, aber das Mittel hilft nur für kurze Zeit, und wahrscheinlich zum guten Teil dieser Occlusion ist es zuzuschreiben, dass der Gasgehalt der Röhre beim Gebrauche abnimmt, ihr Widerstand wächst, die Durchdringungskraft der erzeugten Strahlen zunimmt, dagegen die Strahlenmenge geringer wird — mit einem Worte: die Röhre härter wird. Nach einiger Zeit sind die erzeugten Strahlen wegen ihrer zu grossen Durchdringungsfähigkeit nicht mehr verwendbar.

88) Fortsetzung. Die Regenerierverfahren.

Diesem Missstande sucht man abzuhelfen, einmal durch möglichst rationellen Gebrauch der Röhren, die man nicht mehr belastet, als es nötig ist, dann aber durch die sogenannten Regenerierverfahren, die zum Zweck haben, der Röhre wieder Gas zuzuführen.

*) Man sieht diese niedergeschlagenen Metallteilchen als dunkeln Belag an den Glaswänden.

Bei einigen dieser Konstruktionen werden in die Röhren Substanzen, wie Glimmer, Aetzkali etc., eingeschmolzen, die bei Erhitzung durch eine Flamme etwas Luft abgeben; diese Methoden haben eine nicht sehr lange vorhaltende Wirkung, denn nach kurzer Anwendung ist der kleine Gasrest dieser Substanzen aufgebraucht.

Die Villard'sche Methode benutzt im Gegensatze hierzu die Eigenschaft verschiedener Platinmetalle, insbesondere des Palladiums, in glühendem Zustande Wasserstoff aufzunehmen. In die Glaswand wird ein kleines Röhrchen aus Palladium eingeschmolzen und dieses durch eine Flamme erhitzt. Es nimmt Wasserstoff aus dem Flammenkörper und giebt davon dem Röhreninnern ab. Diese Methode ist sehr wirkungsvoll und gestattet, sehr häufig der Röhre Gas von aussen zuzuführen und ihre Lebensdauer zu vergrössern. Freilich hält auch sie nicht immer vor und verliert an Wirksamkeit mit der Häufigkeit der Ausführung.

89) Theorie des Zusammenhanges zwischen Vakuum und Durchdringungsfähigkeit.

Die Abhängigkeit der Durchdringungsfähigkeit der X-Strahlen vom Vakuum der Röhre dürfte keine direkte sein. Vielmehr ist es nur wahrscheinlich, dass durch das erhöhte Vakuum der Widerstand der Röhre erhöht wird, dadurch eine grössere Potentialdifferenz an den Röhrenelektroden herbeigeführt wird und diese erhöhte Potentialdifferenz die direkte Ursache der zunehmenden Durchdringungsfähigkeit der Strahlen ist. Diese Wahrscheinlichkeit, die sich aus der Dissociationstheorie und analoger Abhängigkeit der Kathodenstrahlen ergiebt, veranlasste den Verfasser, eine Methode auszuarbeiten, mit Hilfe deren das Potential an der Kathode ohne Aenderung des Vakuums erhöht werden kann und so die Durchdringungsfähigkeit der Strahlen unabhängig vom Vakuum reguliert werden kann.

Die Methode besteht im Wesen darin, dass die Kathodenstrahlen gezwungen werden, um zur Antikathode zu gelangen, ein negativ geladenes Rohr zu passieren. Die Kathodenstrahlen, als kleinste negativ electrische Teilchen, werden von dieser Ladung abgestossen und erfordern, um den Abstossungswiderstand zu überwinden ein erhöhtes Potential. Durch diese Potentialerhöhung wächst die Durchdringungskraft der X-Strahlen. Durch einen einfachen Mechanismus kann die Ladung des Rohres variiert werden und hierdurch kann man die Durchdringungsfähigkeit der X-Strahlen regulieren. Speziell bei Thorax-Durchleuchtungen ist diese Regulierung, die während des Funktionierens der Röhre ausgeführt wird, sehr bequem. Die Röhre wird vom elektrotechnischen Laboratorium Aschaffenburg geliefert.

90) Fortsetzung. Die Bildschärfe.

Die Bildschärfe der Röhre hängt davon ab, dass die Strahlen thatsächlich möglichst von einem Punkte ausgehen, dass also die Antikathode so eingesetzt ist, dass der Krümmungsmittelpunkt der Kathode auf ihr und nicht vor oder hinter ihr liegt. Sonst gehen die X-Strahlen statt von einem Punkte von einem grösseren Flecke aus und die Zentralprojektion wird wieder stark beeinträchtigt.

Eine vollkommene Zentralprojektion kann bei der oben gezeichneten Röhrenkonstruktion freilich nie erreicht werden. Die Kathodenstrahlen, als kleinste mit negativer Electricität beladene Teilchen erleiden in einiger Entfernung von ihrem Ausgangspunkte durch ihre gegenseitige Abstossung Ablenkung von ihrem idealen, zum Krümmungsmittelpunkt der Antikathode verlaufenden Weg. Sie besitzen also nicht, wie Lichtstrahlen, die senkrecht von einem Hohlspiegel ausgehen einen Punkt, wo sie sich treffen, sondern nur eine Stelle grösster Einschnürung.

Diese Stelle verschiebt sich ausserdem bei Aenderung des Potentials an der Kathode, also beim Härterwerden der Röhren. Gewöhnliche Röntgenröhren besitzen daher nicht immer eine gute Projektion und es ist gut, sich bei Ankauf stets von der Schärfe der Durchleuchtung zu überzeugen.

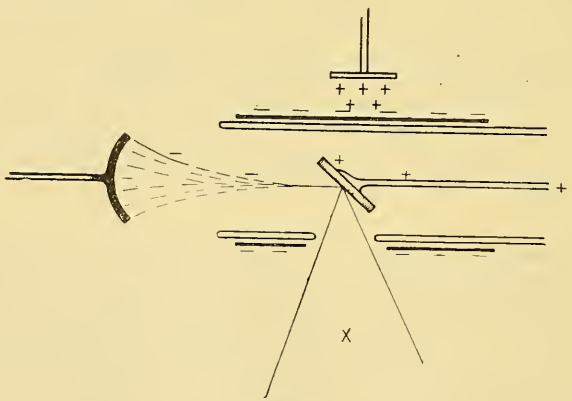


Fig. 26.

Zwingt man die Kathodenstrahlen, bevor sie zur Antikathode gelangen, ein negativ electrisch geladenes Rohr zu passieren, so werden sie von den Wänden des Rohres abgestossen und das Strahlenbündel kann zu einem einzigen in der Längsachse des Rohres ver-

laufenden Strahl zusammengedrängt werden. Dieser Strahl trifft die Antikathode in einem Punkte. Es gelingt so, die Schärfe der Projektion sicherer und von der Härte der Röhre unabhängiger zu machen. (Gundelach-Dessauersche Röhre.)

Die Röhre hat die Aufgabe, die hineingegebene electrische Arbeit in X-Strahlen zu verwandeln. Sie ist dazu in um so höherem Grade imstande, 91) Resumée.

1) je reiner die Impulse des intermittierenden Gleichstromes sind,
2) je grösser ihr Volumen ist,
3) je mehr die Antikathode vor Erwärmung und Zerstäubung geschützt ist.

Die Dauerhaftigkeit der Röhre hängt ebenso von diesen drei Faktoren ab, kann durch die Regenerierverfahren bedeutend erhöht werden.

Auch die Bildschärfe hängt von der Röhre ab. Jede Röhre soll man vor Ankauf in dieser Beziehung prüfen.

Zur Erlangung guter Bilder ist es notwendig, die Röhre so weich als möglich zu benutzen und sie auf die Dauer nicht stärker, als es nötig ist, zu belasten.

II.

TECHNISCHER TEIL.

1. Kapitel.

Technische Winke zur Ausübung des Röntgenverfahrens.

Vorbemerkung.

Die Röntgenstrahlen sind in ihren Qualitäten verschieden (vergl. I, 85).

1) Ueber die günstigsten zur Aufnahme und Durchleuchtung dienenden Strahlenarten.

Ihre Durchdringungsfähigkeit kann sehr different sein. Different ist auch ihre chemische Wirkung, die mit der zunehmenden Durchdringungskraft abnimmt. Different ist schliesslich auch die Menge der durch die X-Strahlen erzeugten Sekundärstrahlen und ebenso von den Strahlen selbst, wie von der substantiellen Beschaffenheit des durchstrahlten Mediums abhängig.

Zwischen den Eigenschaften besteht nun der einfache Zusammenhang, dass die Strahlen bei Zunahme ihrer Durchdringungsfähigkeit immer mehr störende Sekundärwirkungen erzeugen und sehr rasch an chemischer Wirkung einbüssen.

Die Benutzung der Röntgenstrahlen zu medizinischen Zwecken fordert, dass die Strahlen

1. hinreichend durchdringungskräftig sind, um die dicksten menschlichen Organe zu durchdringen,
2. möglichst grosse chemische Wirkung besitzen,
3. möglichst geringe sekundäre Wirkungen hervorbringen.

2) Sekundärwirkungen.

Die störenden „sekundären“ Wirkungen können auf verschiedene Weise erklärt werden. X-Strahlen erleiden auf ihrem Wege diffuse Reflexion, während regelmässige Beugung und Brechung, auch Interferenz, nicht stattfindet. Entweder sind es nun nach allen Seiten hin verlaufende, diffus reflektierte Strahlen, die die geradlinig

verlaufenden, nicht diffus reflektierten, überkreuzen, oder es sind thatsächlich neue, bei dem Eindringen von X-Strahlen in die Körper entstehende Strahlen, nach Walter S-Strahlen genannt.

Ohne die theoretische Lösung dieser Frage hier zu versuchen, nennen wir diese störenden Strahlen einfach S-Strahlen, Sekundärstrahlen.

Ihren Eigenschaften nach sind sie vollkommen diffus und divergent und durchdringen die Körper. Sie entstehen auf dem Glase der Röhre (Glasstrahlen) in der Luft, die sie durchwandern, im Objekte, das sie durchdringen, auf der Platte, in der Emulsion; aber sie entstehen in verschiedenen Materialien verschieden stark, im Blei weniger, als z. B. im Holz, Sie besitzen auch eine chemische Wirkung, affizieren die photographische Platte, bringen den Fluoreszensschirm zum Leuchten. Ihre schädigende Wirkung macht sich insbesondere bei Aufnahmen dichterer Objekte bemerkbar; sie überkreuzen die X-Strahlen nach allen Richtungen und bringen auf der Platte „Schleier" hervor, der die Konturen löscht, welche durch die primären X-Strahlen erzeugt wurden. Die Wirkung dieser Strahlen nimmt rapid zu mit Steigerung der Durchdringungskraft der primären X-Strahlen. Wählt man zu einer Aufnahme — z. B. des Beckens — die Strahlen nur ein wenig zu durchdringungskräftig, so ist man eines verschleierten Bildes gewiss.

B) Forts. v. 1.

Die Masse eines aufzunehmenden oder zu durchleuchtenden Objektes erfordert eine bestimmte minimale Durchdringungsfähigkeit. Es treten in einer Röhre nun immer gleichzeitig Strahlen verschiedener Durchdringungsfähigkeit auf, die innerhalb gewisser Grenzen eine unendliche Feinheit der Abstufung in ihrer Penetrationskraft besitzen. Zur Aufnahme eines Objektes von bestimmter Masse müssen unter diesen mannigfachen Strahlenarten solche sein, die das Objekt noch durchdringen.

Wären alle gleichzeitig auftretenden Strahlen gleich durchdringungsfähig, so würden sie bei einem bestimmten zu durchdringenden Körper entweder alle hindurchgehen oder alle absorbiert werden. Es gäbe also nur eine vollständige oder gar keine Belichtung der Platte. So aber zeigt das Röntgenbild unter Umständen die feinste Nüancierung der Dichtigkeitsunterschiede, die zartesten Details der Knochen und Weichteile. Diese Thatsache zwingt zur Annahme, dass gleichzeitig immer Strahlen von grossen qualitativen Unterschieden entstehen, die innerhalb gewisser Grenzen liegen.

Um zur Aufnahme und Durchleuchtung die möglichste chemische Wirksamkeit und die geringste Störung durch S-Strahlen-Bildung zu erhalten, wird die Durchdringungsfähigkeit stets nur so gross, als durchaus nötig, also möglichst klein, zu wählen sein.

Die erste Forderung der praktischen Ausübung des Röntgenverfahrens ist also die Anwendung von eben hinreichend durchdringungsfähigen Strahlen, von grösster chemischer Wirksamkeit und geringster S-Strahlenbildung.

Daneben besteht die selbstverständliche Forderung, möglichst viele Strahlen zu erzeugen, um eine möglichste Bildhelligkeit und eine möglichst intensive chemische Wirkung auf der photographischen Platte zu erhalten. 4) Aus diesen günstigsten Strahlenarten ergeben sich die Forderungen für die Apparate zu ihrer Erzeugung.

Diese beiden Forderungen, die qualitative und quantitative, sind die Leitpunkte der Röntgentechnik. Qualität und Quantität der Röntgenstrahlen hängen von den erzeugenden Apparaten ab. Von diesen beiden Forderungen ausgehend, entwickeln wir also die wichtigen technischen Momente für Konstruktion und Beurteilung, sowie die Gesetze für den Gebrauch der Apparate. —

Die Eigenschaft der Röntgenstrahlen, die Körper im umgekehrten Verhältnis ihrer Dichte (genau ihres Atomgewichtes) zu durchdringen, giebt uns die Möglichkeit, alle Verhältnisse des menschlichen Körpers zu beobachten, die Dichtigkeitsunterschiede bedeuten, speziell alle pathologischen Veränderungen, die Veränderungen in der normalen Dichtigkeitsanordnung im Gefolge haben. 5) Wesen der Radioscopie

So nehmen wir z. B. jede Dislokation wahr, bei der an die Stelle eines Körpers ein anderer von anderer Absorptionskraft getreten ist; einen Herd, der die Dichtigkeit des Knochens an einer Stelle reduziert, einen Tumor, der dichter oder weniger dicht ist, als das, was in normalen Verhältnissen an seiner Stelle wäre.

Die Mittel, solche Dichtigkeitsunterschiede wahrzunehmen, beruhen auf zwei Fähigkeiten der X-Strahlen; zahlreiche mineralische Salze — Kalium oder Bariumplatincyanür, wolframsaures Kalcium (Scheelit) — fluoreszieren unter dem Einfluss von X-Strahlen, und zwar der Menge und chemischen Fähigkeit der auftreffenden Strahlen entsprechend. Bromsilber (auch Chlor- und Jodsilber), wie es in den Emulsionen der photographischen Platten sich befindet, wird ganz analog wie durch Licht affiziert. 6) Die Wiedergabeverfahren.

Worin eigentlich die Wirkung des Lichtes oder auch der X-Strahlen auf die photographische Bromsilberplatte besteht, darüber ist man bei allen Fortschritten der Photographie sich noch nicht klar geworden. Die gebräuchlichste Erklärungsweise, die „chemische Theorie“, ist die, dass durch das einfallende Licht das Bromsilber im Silbersubbromid und Brom zersetzt wird, nach der Form

$$2\ AgBr = Ag_2Br + Br.$$

Diese Veränderung der Platte ist unsichtbar. Wird jedoch der sogenannte „Entwickler", eine reduzierende Flüssigkeit, zu der Platte gebracht, so wandelt dieser das Silbersubbromid in metallisches, schwarzes Silber, indem er das Brom an sich nimmt. Die chemische Wirkung der Licht- oder X-Strahlen wird sichtbar, und an jeder Stelle in dem Masse, als die Belichtung oder Bestrahlung stattgefunden hat.

Durchdringen X-Strahlen Körper mit Dichtigkeitsunterschieden und gelangen dann auf einen Schirm, der mit fluoreszierender Substanz (z. B. Bariumplatincyanür) bestrichen ist, oder auf eine photographische Platte, so entspricht die Reaktion dieser der Wirkung (Quantität und Qualität) der X-Strahlen, also der stattgehabten Absorption in dem vorher durchdrungenen Körper.

7) Forderungen an das Wiedergabeverfahren.

Diese erzeugten Reaktionen — vom Charakter der Fluoreszenz oder der chemischen Emulsionsänderung — stellen also die Methoden dar, mit denen wir die Dichtigkeitsverhältnisse eines Körpers sichtbar machen, durch sie gelangen wir zur Differenzierung von Dichtigkeitsunterschieden, dem Wesen des Röntgenverfahrens. Diese Methoden müssen möglichst fein sein, damit wir in der Lage sind, auch geringe Unterschiede möglichst klar und deutlich zu erkennen.

Als zweite Gruppe unserer technischen Betrachtungen und Winke für das Röntgenverfahren ergiebt sich also die Untersuchung der Erkennungsverfahren, der Durchleuchtung oder Radioskopie und der Aufnahme oder Radiographie, ihrer Apparate und praktischen Ausübung. —

Unschwer lassen sich die technischen Erörterungen und praktischen Ratschläge in zwei Gruppen teilen:

I. Ueber die zur Erzeugung dienenden Apparate, mit Rücksicht auf die Quantität und Qualität der X-Strahlen und ihre Behandlung.

II. Die zur Sichtbarmachung dienenden Apparate — die Durchleuchtung und Aufnahme —, mit Rücksicht auf eine möglichst deutliche und klare Wiedergabe, und die Ausübung dieser Methode.

A.

Über die zur Erzeugung der X-Strahlen dienenden Vorrichtungen.

8) Der Stromverlauf.

Die Gesetze des Stromverlaufes im Röntgenapparat sind uns aus der ersten Abhandlung bekannt.

Der Stromweg ist ganz allgemein demnach folgender:

9) Allgemeingültiges Schaltschema.

Von den beiden Polen einer Stromquelle führen Leitungen zum Apparate. Vom Punkte höheren Potentials, dem + Pol der Stromquelle, durchläuft der Strom in beliebiger Reihenfolge eine

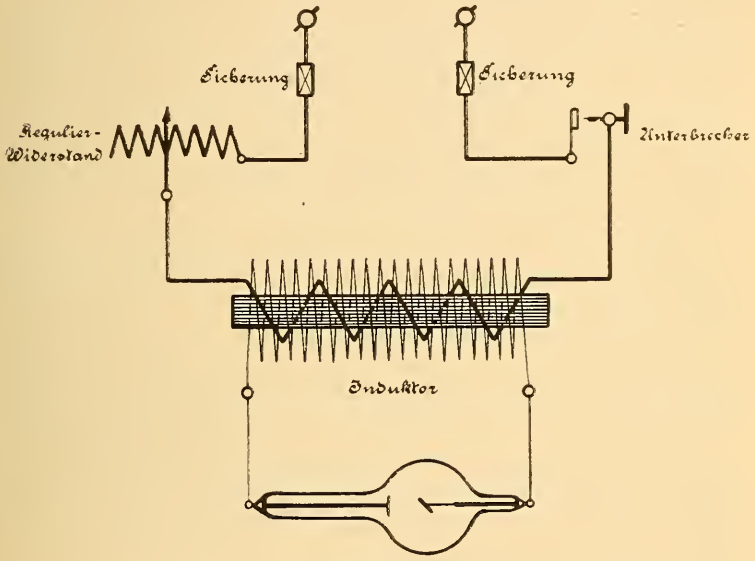


Fig. 27.

Unterbrechungsvorrichtung, die Primärspule eines Induktoriums und einen regulierbaren Widerstand.

Die Sekundärspule führt die ihr induzierten Stromimpulse der Röntgenröhre zu.

10) Die Aufeinanderfolge des Stromverlaufes.

Kommt der Stromverlauf zustande, so wächst die Stärke des primären Stromes nicht augenblicklich, sondern innerhalb einer gewissen Zeit bis zu einem Maximum an. Jedem Anwachsen der Stromstärke entspricht eine Induktionswirkung, und zwar sowohl

in der Primärspule (Selbstinduktion) als auch in der Sekundärspule (Induktion). Die erstere Wirkung, die primäre Schliessungsinduktion oder der Schliessungs-Extrastrom, ist der Zunahme des primären, aus der Stromquelle kommenden Stromes entgegengesetzt und bewirkt, dass er allmählich, nicht momentan wächst. Die Schliessungsinduktion in der Sekundärspule ist ein schädlicher Faktor, weil mit der Öffnungsinduktion gearbeitet wird und die Schliessungsinduktion (in der Sekundärspule) der Öffnungsinduktion entgegengesetzt ist, die Röhre also in verkehrter Richtung passiert.

Je langsamer beim Stromschluss der Primärstrom zum Maximum wächst, desto geringer ist die schädliche Schliessungsinduktion. Der Primärstrom wächst um so langsamer, je mehr er durch den Schliessungs-Extrastrom aufgehalten wird, also je grösser die Selbstinduktion der primären Spule ist und je geeigneter der Unterbrecher gewählt wird. Das Anwachsen des Primärstromes geht am langsamsten beim Platinunterbrecher, dann folgt der Quecksilberunterbrecher, dann der electrolytische, bei welchem die Schliessungsinduktion am schädlichsten und grössten ist.

Man muss also Induktoren verwenden von einem gewissen, nicht zu geringen, aber (aus anderen Gründen) auch nicht zu grossen Selbstinduktionscoefficienten der Primärspule, also von hinreichender primärer Windungszahl und Eisenmenge.

Man wird, wenn nicht andere Gründe mitsprechen, dem Platinunterbrecher in dieser Beziehung den Vorzug geben vor dem Quecksilberunterbrecher, diesem wieder vor dem Electrolyt-Unterbrecher.

Endlich ist zu berücksichtigen, dass die schädliche Schliessungsinduktion auch abhängig ist von der Windungszahl der Sekundärspule. Man wird also diese sekundäre Windungszahl nur so gross wählen, als sie sein muss, da man sonst die Schliessungsinduktion unnötigerweise vergrössert.

Ist der Primärstrom so bis zu einer gewissen Stärke angewachsen, so wird er vom Unterbrecher unterbrochen. Die Stromstärke fällt auf Null, aber nicht plötzlich, sondern allmählich. Jeder Verringerung der primären Stromstärke entspricht eine Induktion und zwar sowohl in der Primärspule (Selbstinduktion) als auch in der Sekundärspule. Der Induktionsstrom in der Primärspule bei der Stromunterbrechung, der primäre Öffnungs-Induktionsstrom oder Öffnungs-Extrastrom ist der Abnahme des unterbrochenen Stromes der Stromquelle entgegengesetzt, sucht ihn also

fortzusetzen, bewirkt, dass er nicht plötzlich, sondern allmählich abnimmt. Die Öffnungs- oder Unterbrechungsinduktion in der Sekundärspule ist der Stromimpuls, mit dem wir arbeiten, auf dessen Intensität es ankommt.

Je rascher bei der Unterbrechung der Primärstrom auf Null sinkt, desto grösser ist die nützliche sekundäre Unterbrechungsinduktion. Der Primärstrom fällt um so rascher ab, je weniger der Öffnungs - Selbstinduktionsstrom ihn daran hindert, je geringer die Selbstinduktion der primären Spule ist, je plötzlicher die Unterbrechung erfolgt.

Es ergiebt sich also für die Unterbrechungsinduktion die Forderung, den Selbstinduktionscoefficienten der Primärspule möglichst klein zu wählen, den Strom möglichst rapid zu unterbrechen und die sekundäre Windungszahl gross zu wählen.

Die Forderungen stehen sich demgemäss direkt gegenüber. Die sekundäre Induktion bei Schliessung und Öffnung des Stromes würde ganz analog und gleichmässig intensiv verlaufen, da eine Erhöhung der Selbstinduktion die Schliessungs- und die Öffnungsinduktion herabsetzt. Es giebt jedoch ein Mittel, den Öffnungs-Extrastrom zu reduzieren, den Stromabfall bei der Unterbrechung recht plötzlich zu machen, also den Öffnungsinduktionsstrom weit intensiver zu machen, als den Schliessungsinduktionsstrom. Dieses Mittel ist die Verwendung eines Kondensators oder eines Electrolytischen Unterbrechers, worüber wir uns schon im ersten Teile eingehend informiert haben.

Durch dieses Mittel gewinnen wir ein entsprechendes Überwiegen der Öffnungs- über die Schliessungsinduktion, und damit haben wir zu arbeiten.

Zur Einleitung, Kontrolle, Regulierung und Beendigung dieses periodischen Stromverlaufes dienen Hilfsvorrichtungen. 11) Die Hilftsapparate.

Der Einschalter dient zum erstmaligen Schliessen und endgiltigen Unterbrechen des Stromverlaufes. Es ist prinzipiell natürlich gleichgiltig, wo der Einschalter seinen Platz hat, da der Stromfluss nur dann zustande kommt, wenn die Leitung zwischen den Polen der Stromquelle vollkommen besteht, an keiner Stelle unterbrochen ist. Schalter.

Zur Kontrolle der primären Stromstärke dient das Ampèremeter. Man zwingt den Strom, auf seinem Wege ein kleines Solenoid zu durchlaufen und bringt eine Magnetnadel in die Nähe. Messinstrumente.

Diese wird durch den Strom abgelenkt, und zwar um so mehr, je stärker der Strom ist (I. 21,25). Aus dem Grade der Ablenkung der Zeigernadel, die über einer Skala spielt, schliesst man auf die Stärke des Stromes.

Es giebt natürlich eine Reihe von Modifikationen des Ampèremeters. Man kann ein Eisenstückchen durch das Solenoid anziehen und den Grad seiner Bewegung auf den Zeiger übertragen. Man kann den Strom durch einen Widerstandsdraht fliessen lassen, der sich (I. 18) beim Stromfluss erwärmt und ausdehnt. Durch die Ausdehnung lässt man einen Zeiger bewegen.

Alle diese Methoden sind anwendbar. Es ist nur Voraussetzung, dass die gemessene Wirkung einzig und allein von der Stärke des Stromes (nicht etwa Spannung etc.) abhängt.

Nun pulsiert ja eigentlich der Strom in dem Primärkreise des Röntgenapparates ständig zwischen Null und einem Maximum, entsprechend Unterbrechung und Schluss. Die Ampèremeterinstrumente können mechanisch aber diesem sehr frequenten Pulsieren nicht nachkommen und stellen sich auf einen Mittelwert ein. Im Momente des Strommaximums ist also die Stromstärke fast doppelt so gross, als das Ampèremeter zeigt.

Die gewöhnlichen, auf Magnetismus beruhenden („electromagnetischen") Ampèremeter zeigen bei den Röntgenapparaten fast immer nur annähernd richtig, weil das Pulsieren des Stromes rascher vor sich geht, als das Magnetisieren, Entmagnetisieren oder Ablenken (magnetische Trägheit, Hysteresis). Wir dürfen in den Angaben unserer magnetischen Messinstrumente daher nur Näherungswerte erblicken, die oft recht weit von den Thatsachen abweichen. Die Hitzdrahtinstrumente zeigen dagegen richtiger. Aber es ist nicht sehr bedenklich, dass die Ampèremeter etwas falsch zeigen, denn ihr Wert besteht ja nur in so ferne, als sie eine vergleichende Kontrolle der beim Arbeiten mit einem Apparate in verschiedenen Fällen verbrauchten Stromstärken geben. Von zwei verschiedenen Apparaten können bei gleicher Erzeugung von X-Strahlen die primären Stromstärken sehr verschieden sein.

Zur Kontrolle der primären Stromspannung dient das Voltmeter. Die Stromstärke kann man an jedem beliebigen Punkte des Stromweges messen. Spannung besteht nur immer zwischen 2 verschiedenen Punkten. Es kann von Interesse sein, die Spannung zu messen, entweder, wenn diese aus irgend einem Grunde an der Stromquelle inkonstant ist (z. B. bei Akkumulatoren, bei denen sie zurückgeht, wenn sie sich entladen), oder, wenn man die Spannung variabel macht, sie reguliert.

Wenn zwischen 2 Punkten eine Potentialdifferenz ist und die beiden Punkte durch einen Stromweg verbunden werden, dessen

Widerstand ganz genau bekannt ist — sagen wir 200 Ohm — und sich nicht ändert, so hängt die Stärke des Stromes nur noch von der Spannung ab. Misst man den Strom mit genau den gleichen Methoden, wie beim Ampèremeter, so kann man an der Skala statt der Ampèrezahl die Voltzahl anbringen. Denn der Ausschlag ist nur dann doppelt so gross, wenn die Spannung doppelt so gross ist.

Das Voltmeter ist also ein Ampèremeter von ganz bestimmtem, sehr grossem Widerstand. Statt dass es an einem Punkte in die Leitung eingefügt wird, bildet es die Verbindung zwischen den beiden Punkten, deren Potentialdifferenz man bestimmen will. Gut ist es, dem Voltmeter, das in einem eigenen, parallel geschalteten Stromkreise liegt („Nebenschluss“ zum eigentlichen primären Stromkreise), noch einen Ausschalter hinzuzufügen.

Sicherung.

Beim praktischen Betriebe des Röntgenapparates können, wie bei jedem Apparate, Störungen eintreten. Als Beispiel wollen wir annehmen, dass z. B. der Unterbrecher versagt und, statt den Strom zu öffnen, ihn geschlossen lässt. Dann steigt dessen Stärke, gemäss dem Ohm'schen Gesetz, an und erreicht einen unter Umständen gefährlichen Grad. — Nehmen wir z. B. den Widerstand des ganzen Stromkreises mit 3 Ohm, die Spannung der Lichtleitung mit 120 Volt an, so würde beim Versagen des Unterbrechers die Stromstärke auf 40 Ampère anwachsen.

Dieser Betrag ist hinreichend, die Leitungsdrähte des Apparates heiss zu machen, sodass die Isolation schmilzt und der ganze Apparat in Gefahr gerät. — Auch durch andere Umstände — die Berührung zweier Leitungsdrähte, sodass der Strom, statt durch Induktor, Unterbrecher und Widerstände an der Berührungstelle übergeht — kann der Strom zu abnormer Grösse anwachsen. Man nennt diese Vorkommnisse, bei denen dem Strom ein bequemerer Leitungsweg geboten wird, sodass er zu anormaler Höhe ansteigt, Kurzschlüsse, die dabei stromlos gemachten Apparate „kurz geschlossen“.

Für alle diese Vorkommnisse giebt es ein einfaches Schutzmittel, das verhindert, dass der Strom über einen bestimmten Maximalbetrag ansteigt, die sogenannten Sicherungen. Man leitet den Strom durch kurze, dünne Streifen aus leicht schmelzbarem Metall. Wird der Strom zu stark, so schmelzen diese Sicherungen und unterbrechen den Strom selbst. Gemäss der normalen Betriebs-

stromstärke erhalten die Sicherungen eine bestimmte Länge, Breite und Dicke. Eine Sicherung für 10 Ampère z. B. ist so eingerichtet, dass sie bei ca. 18—22 Amp. schmilzt und den Strom unterbricht.

Ist eine Sicherung durchgeschmolzen, so sucht man zunächst die Ursache des Anwachsens des Stromes und beseitigt diese. Dann nimmt man sie, nachdem man den Leitungsstrom durch Ausschalten unterbrochen hat, heraus und ersetzt sie durch eine neue. Mit dem Alter nimmt das Leitungsvermögen der Sicherungen, die beim Betriebe immer erwärmt werden, ab, und es mag nach einiger Zeit dann wohl vorkommen, dass eine Sicherung ohne Verletzung schmilzt — durchbrennt, wie der terminus technicus heisst.

Solche Sicherungen dienen beim Röntgenapparat zum Schutze des Primärkreises, wie auch zum Schutze eventueller Parallel-Kreise. Besitzt der Röntgenapparat z. B. eine electrische Lampe, so soll auch diese mit einer Sicherung versehen sein.

Vorschriften des Verbandes über Montage der Apparate.

Der Verband deutscher Electrotechniker, ein Verein, der die bedeutendsten Fachleute umschliesst und die ersten Autoritäten des Gebietes zu seinen Mitgliedern zählt, hat Vorschriften über Sicherungen und andere Schutzvorrichtungen der electrischen Apparate erlassen. Diese Vorschriften sind massgebend, weil aus tausendfältiger Erfahrung von den ersten Theoretikern und Praktikern ausgearbeitet. Sie sind die Unterlage für die Feuerversicherungsgesellschaften und sollen daher, damit man vor Ankauf seine Apparate danach untersuchen kann, soweit sie auf Röntgenapparate Bezug haben, hier Platz finden.

Alle Leitungskreise der Apparate, sobald sie mit der Lichtleitungsspannung von 65, 110, 150, 220 oder mehr Volt betrieben werden, müssen doppelpolig gesichert sein, das heisst (vergl. nachst, Schaltschema) zunächst jedem Pole der Stromquelle muss je eine Sicherung sein, — auch eine Glühlampe muss doppelpolig gesichert sein.

Der Verband schreibt ferner vor: Alle Leitungen — bei den genannten Anschlussspannungen — müssen sorgfältig isoliert sein. Die Schalter, Sicherungen, Anschlussdosen müssen für die Stromstärken, mit denen sie arbeiten, genügend gross sein und am besten die Ampère- und Voltzahl, für die sie bestimmt sind, aufgeschrieben erhalten.

Alle Leitungen, die in der Nähe von sich erwärmenden Widerstandsspiralen sich befinden, müssen mit Asbest, jedenfalls feuersicher isoliert sein. Niemals darf — bei Spannungen über 65 Volt — die Leitung, sei sie auch mit Isolation umsponnen, in direkter Berührung mit brennbaren Gegenständen sein. Es ist also unstatthaft, bei Spannungen über 65 Volt die Leitungen auf oder unter

Holztafeln zu schlagen, sodass sie diese berühren. Die Leitungen müssen auf feuerfeste (Porzellan-) Isolatoren verlegt werden. Wird eine Leitung durch eine Holztafel geführt, so darf dies nur unter Verwendung einer Durchführung aus Porzellan oder anderem feuerfestem, isolierendem Material geschehen. Es ist überhaupt empfehlenswert, Marmortableaux für diese Apparate zu benutzen, weil dann die Isolation sehr vereinfacht wird. — Es ist immerhin nützlich,

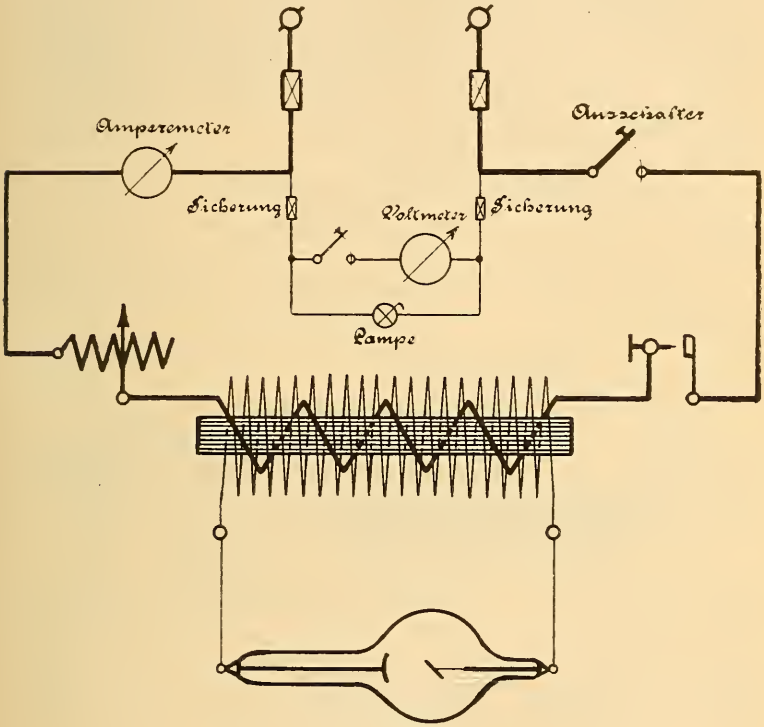


Fig. 28.

sich auch auf diese Umstände, die zwar für die Leistung ohne Belang sind, den Apparat auch etwas anzusehen. — Auch für andere electromedizinische Anschlussapparate mag das gelten.

Dagegen giebt es in einzelnen Städten Spezialvorschriften, die teilweise durchaus nicht von wissenschaftlichen oder technischen, sondern von finanziellen Rücksichten diktiert sind und Veranlassung waren, dass manche die Radiographie ausübende Anstalten sehr

bässliche Chikanen durchzumachen hatten. So verlangten einige städtische Electrizitätswerke, dass Dosen, Sicherungen, Schalter irgend eines bestimmten Modells, an dem sie Interesse haben, verwendet werden. — Diesen Chikanen gegenüber mag betont werden, dass der Röntgenapparat, als wissenschaftliches Untersuchungsinstrument, unter fachkundiger Handhabung weder den Verbandesvorschriften, noch den Vorschriften des Werkes untersteht. Man wende sich in solchen, immerhin vereinzelten Fällen an die Lieferanten, die mit Rat und Auskunft zu Diensten stehen dürften.

Beleuchtungseinrichtung.

Als weiterer, wenn auch weniger wichtiger Nebenapparat am Röntgeninstrumentarium kommt die Beleuchtungsvorrichtung in Frage. Man bedarf bei Benutzung des Instrumentes eines gedämpften, am besten roten Lichtes, das am Apparate selbst angebracht sein kann. Hierüber folgen nähere Mitteilungen bei der Betrachtung der Einrichtung des Röntgenzimmers.

Unter Berücksichtigung dieser Hilfsapparate lässt sich das allgemeine Schaltschema der Röntgeneinrichtung wie folgt darstellen (Fig. 28).

12) Das allgemeine Schaltschema mit Hilfsapparaten.

Dieses allgemeine Schaltschema erleidet konstruktive Modifikationen,

1. mit Rücksicht auf die Stromquelle und die Unterbrechungsvorrichtung des Röntgenapparates;

2. mit Rücksicht auf seine Regulierung.

13) Stromquellen und Unterbrecher.

Die Stromarten und Spannungen, mit denen die Röntgenapparate betrieben werden, richten sich einmal nach den Fähigkeiten der Unterbrecher, und dann nach den gegebenen Verhältnissen bei den existierenden electrischen Beleuchtungsanlagen.

a) Platinunterbrecher.

Die Platinunterbrecher eignen sich vortrefflich für Spannungen bis 40 Volt, in Spezialkonstruktionen bis 100 Volt. Bei höherer Spannung versagen sie leicht aus mechanischen Gründen, weil die Berührungskontakte bei erhöhter Stromstärke sich zu sehr erhitzen und starke Feuererscheinungen entstehen. Der Platinunterbrecher müsste demnach bei erhöhter Spannung eine stark verkürzte Kontaktdauer haben, damit die Stromstärke nicht so hoch anwächst — eine Bedingung, die nur in engen Grenzen erfüllt werden kann.

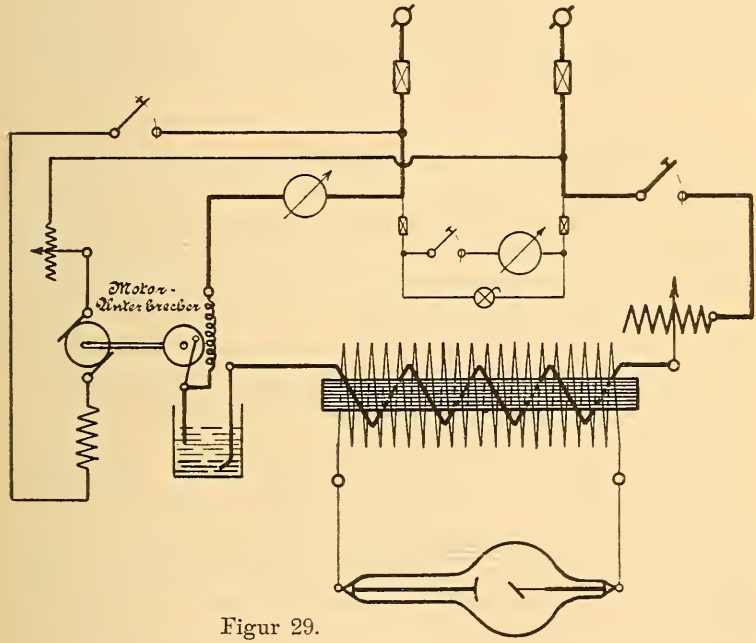
b) Quecksilberunterbrecher.

Die Quecksilberunterbrecher arbeiten gleichfalls mit niederen und mittleren Spannungen am besten. Für moderne Betriebe kommen die alten Quecksilberunterbrecher mit Tauch-Kontakten wegen ihrer zu geringen Frequenz garnicht mehr, die Turbinen- und Quecksilberstrahl-Unterbrecher nur wenig mehr in Frage. Bei Spannungen

von 110 Volt und darüber verschlammen die Quecksilberunterbrecher schon sehr stark, aus demselben Grunde, aus dem die Platinunterbrecher zu „brennen“ beginnen.

Bei Benutzung von Quecksilbermotorunterbrechern (einfacher Tauchunterbrecher mit Motorbetrieb, Turbinen-, Quecksilberstrahl- und Quicksilbergleitkontakt-Unterbrechern) dient ein Electromotor zur Bewegung der Unterbrechungsvorrichtung. Dieser Motor wird von der Stromquelle angetrieben, besitzt also einen eigenen Stromkreis. Er braucht demgemäss eigene Schalter, Sicherungen, einen eignen Widerstand zum Regeln der Tourenzahl. Hierdurch wird der Apparat naturgemäss kompliziert.

Das Schaltschema würde allgemein wie folgt aussehen: (Fig. 29)



Figur 29.

Die Regelung der Unterbrechungszahl ist ziemlich bequem durch die Benutzung eines Motors. — Ganz allgemein ist die Benutzung dieser Unterbrecher selten besonders vorteilhaft, da sie, abgesehen von ihrer Umständlichkeit in Handhabung und Reinerhaltung, bei Batteriebetrieb von einem guten Platinunterbrecher, bei Anschluss von den Electrolyt-Unterbrechern an Leistung übertroffen werden (vergl. auch I, 66, 68). Einzelfälle geben Indikationen zur Benutzung solcher Unterbrecher. Der wichtigste Anwendungsfall

ist bei Benutzung eines Wechselstromanschlusses mit Boas'schem Synchron-Turbinen-Unterbrecher gegeben (s. I. 70).

c) Electrolytische Unterbrecher.

Die electrolytischen Unterbrecher lassen sich in 2 Gruppen teilen, in Wehnelt'sche Electrolytunterbrecher und in Diaphragma-Unterbrecher nach Simon, Caldwell, Ruhmer u. a.

Den der Unterbrechung zu Grunde liegenden Vorgang bei der ersteren Art lernten wir bereits im 1. Teile kennen. Die Diaphragma-Unterbrecher beruhen auf der Verengung des Electrolyten an einer Stelle, an der dann durch den Widerstand Stromwärme und Dampfbildung erzeugt wird. Die erzeugte Dampfhülle isoliert, unterbricht. Im Momente der Stromunterbrechung entsteht der Oeffnungsextrastrom, und dieser durchschlägt, wie beim Wehnelt-Unterbrecher, die isolierende Dampfhülle, die nun emporsteigt. Neuer Electrolyt tritt an ihre Stelle und stellt den Stromschluss wieder her.

Die Unterbrechertypen der Wehnelt'schen Form sind besser, als die Diaphragma-Unterbrecher. Sie arbeiten bei geringerem Stromverbrauch intensiver, geräuschloser und sind leichter regulierbar, während primäre Stromstärke und Unterbrechungszahl bei den Diaphragmaunterbrechern von der Grösse des Diaphragmas abhängt und nicht in sehr beträchtlichem Masse mehr reguliert werden kann.

14) Die Electrol.-Unterbrecher Fortsetz.

Der Wehnelt-Unterbrecher wurde von Ernecke, Siemens und Halske, Walter = Richard Seifert & Co. und nach Angabe des Verfassers vom Electrotechnischen Laboratorium verschieden modifiziert. Alle Formen sind mehr oder weniger brauchbar. Die Antorderungen des Betriebes sind allgemein folgende:

Der Wehnelt-Unterbrecher muss stets exakt „ansprechen", d. h. beim Einschalten des Röntgenapparates sofort in Funktion treten. Er muss sich bequem regulieren lassen. Wie schon (I. 60, 66) erwähnt, nimmt mit wachsender Berührungsfläche zwischen Anode und Säure die primäre Stromstärke zu, die Unterbrechungszahl ab. Mit der Zunahme des Primärstromes ergiebt sich eine Zunahme der Feldstärke, der (Schliessungs- und) Oeffnungsinduktion.

Man hat, von diesem Zusammenhang ausgehend, Electrolyt-Unterbrecher konstruiert, bei denen mehrere Anoden mit verschieden grossen Berührungsstellen in die Säure tauchen. Von jeder Anode führt ein Kabel zum Röntgenapparat. Mit Hilfe eines Umschalters kann nach Belieben die eine oder andere Anode gewählt und so Zahl und Intensität der Unterbrechung variiert werden.

Auf diese Weise ist ein Teil der Regulierung des Apparates in die Unterbrecher verlegt.

Ein anderer Gesichtspunkt, dem der Verfasser sympathischer gegenübersteht, ist der: Durch die Bestimmungsstücke des verwendeten Induktoriums (seine Eisenmenge, Windungszahl etc.) ist ein Optimum für den Electrolyt-Unterbrecher von vornherein gegeben. Man kann Electrolyt-Unterbrecher und das übrige Instrumentarium zu einer sehr feinen Abstimmung bringen, bei der dann die beste Leistung bei geringstem Strom und Materialverbrauch resultiert. Durch den gleichfalls angepassten Widerstand ist es möglich, die Leistung der Apparate in sehr weiten Grenzen zu regulieren, wenn nur der Electrolyt-Unterbrecher so konstruiert ist, dass er im ganzen Reguliergebiet gleichmässig funktioniert und gut anspricht und sehr leicht die beste Stellung finden lässt. Nicht jede Konstruktion der Electrolyt-Unterbrecher erfüllt diese Bedingung.

Weiter müssen die Electrolyt-Unterbrecher möglichst vor der Zerstörung durch Säure geschützt sein. Die Anodenzuführung, die Regulierteile des Unterbrechers können nicht durchaus säurefest gemacht werden. Insbesondere aber wird die Stelle der Anode, wo der Platinstift eingesetzt ist, leicht von der Säure angefressen und immer von Zeit zu Zeit zerstört. Man hält sich einen Reservestift bereit.

Der Electrolyt-Unterbrecher arbeitet nicht geruchlos. Es ist ratsam, ihn in ein anderes Zimmer, in einen Gang oder Keller zu bringen, damit die Säuredämpfe und sein Geräusch nicht stören. Das Geräusch des Unterbrechers richtet sich nach der Unterbrechungszahl — man kann daraus auf diese schliessen — und ist, wenn die Abstimmung zwischen Unterbrecher und Induktorium gut ist, nicht allzu laut und störend. Ist die Abstimmung keine gute, so macht sich sofort eine sehr unangenehme Vermehrung des Geräusches geltend. Man kann in gewissen Grenzen von dem misstönenden Geräusch sicher auf die mangelnde Uebereinstimmung zwischen Unterbrecher und Apparat schliessen.

15) Electrolyt-Unterbrecher bei Gleichstrom-Anschluss.

Der Electrolyt-Unterbrecher, und zwar am besten ein solcher nach Wehnelt'schem Prinzipe, findet Anwendung bei einer Betriebsspannung von nicht unter 50 Volt. Er arbeitet am besten bei 100—160 Volt, während er bei höheren Betriebsspannungen schon wiederum an Rationalität und Gleichmässigkeit des Arbeitens ein-

büsst. Man thut gut, bei diesen höheren Spannungen die Voltzahl durch ein anderes Hilfsmittel, den Abzweigwiderstand, zu erniedrigen.

Hinsichtlich der Leistung übertrifft der Wehnelt alle anderen Unterbrecher bei weitem. Denn keine mechanische Unterbrecherkonstruktion kann die Exaktheit und Schnelligkeit der Verdampfungsvorgänge erreichen, welche bei ihm Ursache der periodischen Stromschlüsse und Stromöffnungen sind. Dagegen ist beim Stromschlusse gleichfalls der Anstieg des Primärstromes, der Feldstärke rascher und damit die Schädlichkeit der Schliessungsinduktion grösser. Um sie zu kompensieren und damit den Röhrenverbrauch geringer zu machen, sind beim electrolytischen Unterbrecher besondere Massregeln angezeigt, insbesondere dann, wenn der verwendete Induktor eine grosse sekundäre Windungszahl hat und die Betriebsspannung gross ist. Diese Massregeln werden wir später kennen lernen.

Bei Anschluss des Röntgenapparates an einen Gleichstrom und Benutzung des Electrolyt-Unterbrechers nützt sich dieser nicht ab, bis auf das allmähliche Anfressen einzelner Teile durch die Säure. Auch die Konzentration der Säure ändert sich nur sehr wenig — und diese Aenderung ist (von 1,15 bis 1,24 sp. Gewicht) so ziemlich ohne Belang für den Betrieb.

16) Der Wechselstrom als Betriebsquelle der R.-Apparate.

Dagegen tritt bei Anschluss an Wechselstromleitungen ein nicht unbeträchtlicher Platinverbrauch ein.

Sehr viele Städte besitzen electrische Centralen, in denen kein konstanter, sondern ein rythmisch pulsierender, seine Spannung und Stärke periodisch ändernder Strom fliesst, wie wir ihn (I. 7,8 ff.) kennen lernten.

17) Die Kurve des notwendigen Stromes und die Wechselstromkurve.

Die Kurve eines solchen Stromes (I. 7,8) kennzeichnet ihn von vornherein als ungeeignet für den Betrieb des Röntgenapparates, da es Impulse wechselnder Richtung sind, welche die Röntgenröhre erhalten würde. Der Wechselstrom besitzt aber einzelne Phasen in seinem Verlaufe, die den Phasen des gewünschten, für den Röntgenapparat geeigneten Verlaufes ganz analog sind. Giebt es ein Mittel, die schädlichen Phasen der Kurve auszuschalten, so kann der Wechselstrom benutzt werden.

Wenn jeweils im Punkte A (Fig. 30) der Kurve ein Unterbrecher einsetzt und den Strom unterbrochen hält, während er seine Richtung ändert, ihn wieder einschaltet, im Punkte B, wo er im gleichen

Sinne zu wachsen beginnt, bei A wieder unterbricht, so wird hierdurch ein intermittierender Gleichstrom erzeugt, der den Anforderungen (siehe I) entspricht.

18) Drosselwirkung des Electrolytischen Unterbrechers.

Diese Funktion besitzt nun, wenn auch nicht in sehr vollkommener Weise, der Electrolytische Unterbrecher. Er lässt den Strom nur dann passieren, wenn er in der Richtung von der kleinen zur grossen Electrode geht, also wenn die Platinspitze die positive, die Bleiplatte die negative Electrode des Unterbrechers ist. In der entgegengesetzten Richtung kommt nur schwacher Stromfluss zu stande. Darum kann der Wehnelt den direkten Anschluss an Wechselstrom oder 2 Leitungen des Drehstromes gestatten, weil er nur die Hälfte jeder Periode passieren lässt und diese in ihrem Verlaufe wie einen Gleichstrom unterbricht.

Und des Boas-Unterbrechers.

Das, was der Electrolyt-Unterbrecher der Natur der Sache nach thut, erreichte B o a s künstlich durch einen äusserst geistvoll erdachten Apparat, den Boas'schen Synchron-Turbinen-Unterbrecher.

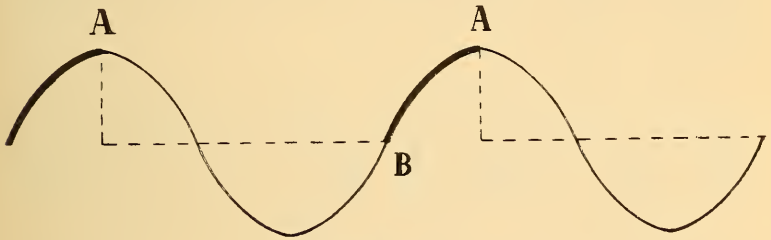


Fig. 30.

Ein Electromotor ist so konstruiert, dass er jedesmal genau eine Umdrehung vollendet, wenn der ihn treibende Wechselstrom eine Periode durchläuft. Man nennt einen solchen Motor einen Synchronmotor (συν und χρόνος). Dieser Motor bethätigt eine Unterbrechungsvorrichtung, während eines Umlaufes je einmal und zwar so, dass der Strom immer an der gleichen Stelle geschlossen wird, etwa während des vierten Teiles der Umdrehung geschlossen b l e i b t und dann wieder unterbrochen wird. Da nun eine Umdrehung immer einem Periodenverlaufe entspricht, so entspricht der eingeschaltete Teil immer einer gleichen Phase der aufeinanderfolgenden Perioden. Gemäss Fig. 30 schliesst der Unterbrecher den Strom

bei B, sodass er nun langsam, der Sinusoide des Wechselstromes entsprechend und noch verzögert durch die magnetische Trägheit der Spule ansteigt. Bei A etwa wird er unterbrochen und bleibt es, bis bei B wieder die gleiche Phase beginnt und der Unterbrecher den gleichen Teil seiner Umdrehung durchläuft.

19) Wechselstrom-Anschluss-Betrieb nach Boas.

Solche Synchronmotor-Unterbrecher liefern also einen intermittierenden Gleichstrom von fast idealer Kurve. Der Primärstrom beim Stromschlusse steigt viel langsamer an, denn die Spannung dieses Stromes wächst, im Gegensatz zur Gleichstromquelle, allmählich. Die Unterbrechung ist ebenso plötzlich, wie beim Gleichstrom, die Differenz zwischen (sekundärer) Öffnungs- und Schliessungsinduktion also grösser, als bei jeder anderen Betriebsart. In dieser Beziehung ist also die Benutzung des Wechselstromes in Verbindung mit dem Boas'schen Synchron-Unterbrecher die theoretisch zweifellos vollkommenste Betriebsart.

Dieser Vorteil der Boas'schen Betriebsart ist bisher leider wenig anerkannt worden, aus dem einfachen Grunde, weil er wenig verstanden wurde. Die auf diese Art so sehr reduzierte schädliche sekundäre Schliessungsinduktion ist sonst durchaus nicht erreichbar, setzt aber zu ihrer Bewertung einige Kenntnis der Wechselstromverhältnisse voraus.

Trotz dieses offenkundigen Vorteils der Boas'schen Betriebsart hat der Synchron-Unterbrecher nur vereinzelte Anwendung gefunden. Denn er besitzt einige praktische Nachteile, die ihn auf solche Institute beschränken, bei denen viel Zeit und Sorgsamkeit auf die Behandlung der Apparate verwendet werden kann.

Nachteile.

Zunächst besitzt er die Übelstände, welche den Turbinen-(Quecksilber-)Unterbrechern überhaupt eigen sind, die Unreinlichkeit und Verschlammung des Hg. Dann aber — und das ist wesentlich — ist es nicht einfach, den Apparat in Thätigkeit zu setzen. Der Synchronismus, der Gleichlauf der Touren und Perioden, ist nämlich eine empfindliche Sache. Zunächst muss er hergestellt werden, d. h. es muss der Motor des Unterbrechers von der Hand mittelst eines Triebwerkes in schnelle und immer schnellere Umdrehung versetzt werden, bis ihre Zahl mit der Zahl der sekundlichen Perioden übereinstimmt. Dann muss die Stromschlussstelle und die Unterbrechungsstelle sehr sorgsam eingestellt werden, damit das Induktorium nicht Impulse verkehrter Richtung empfängt. Dieses Andrehen des Motors ist oft lästig und erfordert recht viel Übung. Durch irgend eine Zufälligkeit — im Unterbrecher

z. B. — mag nun die Arbeit, die der Motor bei seiner Umdrehung zu leisten hat, einen Moment grösser werden, die Belastung also schwanken, steigen. Der Motor wird ein wenig gehemmt, die Phase eilt ihm vor, die Unterbrechung des Stromschlusses erfolgt an falscher Stelle, der Unterbrecher ist „aus dem Takt".

Er kommt von selbst dann auch nicht wieder zum Synchronismus, sondern muss, nach abgestelltem Induktorstrom, von neuem von Hand angetrieben werden.

Dagegen hat der Electrolyt-Unterbrecher den Vorzug der Einfachheit, aber den Nachteil, dass beim verkehrten Durchgang des Stromes dieser nicht vollständig unterdrückt wird, und dabei das Platin der Anode zersetzt. Der direkte Anschluss eines Röntgenapparates an Wechselstrom unter Zuhilfenahme des Wehnelt-Unterbrechers bedingt also Platinverbrauch. 20) Wechselstrom-Anschlussbetrieb mit Electrolyt-Unterbr.

Bei richtiger Konstruktion des Unterbrechers einerseits — man nimmt die Anodenstifte dick und kräftig und sorgt für ihre automatische Nachregulierung — und des Induktoriums andrerseits ist die Platinaufnutzung nicht allzugross und der Betrieb rationell genug zu gestalten. Man kann etwa auf 2—5 Pfennig Platinverbrauch pro Aufnahme oder Durchleuchtung rechnen.

Der Electrolyt-Unterbrecher setzt sich sofort beim Einschalten selbst in Thätigkeit und bedarf, wenn er sich automatisch reguliert, fast gar keiner Aufmerksamkeit oder Bedienung. Dagegen sind die Stromverhältnisse, die er schafft, bei Wechselstrom, nicht so ideal wie beim Betriebe nach Boas.

Freilich wird auch hier der Anstieg des Stromes bei der Einschaltung flacher, die Schliessungsinduktion geringer sein, wie bei Gleichstrom. Indessen erhält der Induktor zwischen je zwei regulären Stromdurchgängen auch solche entgegengesetzter, schädlicher Richtung, weil eben der Apparat nicht vollständig unterbricht. So werden denn die Röhren hier nicht von reinen intermittierenden Gleichstrom-Impulsen durchflossen, sondern es entstehen auch schädigende, störende Zwischenströme verkehrter Richtung, welche sich hauptsächlich in der Radiographie durch Bildschleier zeigen. Nachteile.

In der Untersuchung der beim Anschluss der Röntgenapparate mit Electrolyt-Unterbrechern an Wechselstrom resultierenden eigentümlichen Stromverhältnisse dürfte für die Zukunft wohl noch ein

erheblicher Fortschritt zu erhoffen sein. Denn es ist eine eigentümliche Thatsache, dass von einer Anzahl gleicher in verschiedenen Städten ausgeführter Wechselstrom-Röntgenanlagen ein Teil sehr gute, ein Teil minder gute Resultate zeitigt, ohne dass es bis jetzt gelang, der Ursache endgiltig nahe zu kommen. Die minder guten Erfahrungen, die sich hauptsächlich in einem konstanten Bildschleier auf den schwierigeren Aufnahmen — der bis zur Unmöglichkeit solcher in extremen Fällen führen kann — und grösserer Abnutzung der Röhren äusserte, führte vereinzelt zu ganz hinfälligen und ungerechten Angriffen auf einzelne Fabrikate, die um so rücksichtsloser waren, je weniger ihre Urheber die Verhältnisse zu begreifen und zu beurteilen in der Lage waren.

Thatsächlich dürfte der auffallende Unterschied einer grossen Anzahl trefflich und einer kleinen minder gut funktionierender gleicher Anlagen bei Wechselstrom in dem Wechselstrom selbst und in den zuführenden Apparaten gelegen sein.

Die Wechselströme der städtischen Centralen werden in den Centralen bei sehr hohen Spannungen (3000 bis 10000 Volt) erzeugt und Unterstationen zugeleitet. Bevor sie zu den Verbrauchsstellen gelangen, werden sie in den Unterstationen auf die niedere Verbrauchsspannung von ca. 120 Volt heruntertransformiert. Die Transformatoren dieser Stationen beruhen auf ganz genau denselben Induktionsgesetzen und Ueberlegungen, wie wir sie im ersten Teile kennen lernten. Primärspule ist eine solche mit vielen Windungen dünnen Drahtes zur Aufnahme des hochgespannten Wechselstromes, Sekundärspule eine solche mit weniger Windungen stärkeren Drahtes, in welcher der Lichtstrom entsteht.

Ist nun an einen solchen Transformator ein Röntgenapparat mit Electrolyt-Unterbrecher angeschlossen, so spielt unter Umständen auch die Selbstinduktion und Phasenverschiebung dieses Wechselstromtransformators eine Rolle. Das rhythmische Schliessen und Oeffnen des Stromes im Röntgenapparat bringt Induktionen im Wechselstromtransformator hervor, in dem sich Schwingungen ausbilden können, die den Verlauf der Vorgänge auf ungünstige Weise beeinflussen.

Diese Verhältnisse sind bis jetzt nicht abschliessend untersucht. Jedenfalls aber ist die Gefahr solcher Störungen um so geringer, je kleiner der Strombedarf des Röntgenapparates im Verhältnis zum gesamten von dem Transformator zu liefernden Strombedarfe, je grösser dieser letztere also selber ist.

Will man vor diesen Eventualitäten sicher sein, so schützt die Benutzung eines Wechselstrom-Gleichstrom-Umformers. Der Wechselstrom oder Drehstrom wird, statt zum Betriebe des Instrumentariums, zum Antrieb eines kräftigen Motors von ca. 2 Pferdestärken benutzt, der seinerseits eine Dynamomaschine in Thätigkeit setzt, die Gleichstrom liefert. Man hat also eine eigene kleine Gleichstromcentrale. Es verlohnt sich aber durchaus, wenigstens versuchsweise, Wechselstrombetrieb einzuführen. Die wesentliche Ausgabe für den Wechselstrom-Gleichstrom-Umformer ist nachträglich immer noch möglich, umsomehr, als ein richtig gebautes Wechselstrom-Instrumentarium sich auch an Gleichstrom anschliessen und mit Erfolg betreiben lässt. 21) Wechselstrombetrieb unter Einschaltung eines Wechselstrom-Gleichstrom-Umformers.

Bei Betrieb einer Röntgenanlage mit Wechselstrom ist also zu beachten:

Die Prüfung der Wechselstromleitung auf ihre für die Röntgenstation für Electrolytbetrieb geeignete Beschaffenheit. Bei Synchronunterbrechern nach Boas braucht man keine Rücksicht hierauf zu nehmen. Des weiteren die für den Wechselstrom geeignete Konstruktion des Induktoriums. Ist die „magnetische Trägheit", also die Eisenmenge und Windungszahl sehr gross, so entsteht (nach I. 43 b) grosse Phasenverschiebung. Man benutze daher jedenfalls nicht Induktoren, bei denen diese Dimensionen zu beträchtlich sind. 22) Resumee über den Wechselstrombetrieb.

Man muss sich ferner von vornherein klar machen, dass man die Frequenz nicht beliebig regulieren kann. Denn diese ist ja an die Periodenzahl des Wechselstromes gebunden.

Ausser dem Stromverbrauch und der Abnutzung der Röhren hat man mit einem Platinverbrauch des Electrolyt-Unterbrechers zu rechnen, wenn dieser zur Benutzung kommt.

Gegen die nicht vollständig durch den Electrolyt-Unterbrecher abgehaltenen Induktionsstösse umgekehrter Richtung ist die Röhre möglichst zu schützen — durch Wahl eines Induktors von nicht zu grosser sekundärer Windungszahl und Benutzung der Ventilröhren, die wir später kennen lernen.

Dagegen hat man eine geringere schädliche Schliessungsinduktion.

Die Röhrenabnutzung durch Schliessungsinduktion ist also nicht beträchtlich, wenn die übrigen Vorsichtsmassregeln befolgt werden.

Endlich sind Röntgenapparate mit direktem Wechselstromanschluss nicht so regulierfähig. Es ergiebt sich dies ohne weiteres daraus, dass beim Stromschluss die Stärke ganz allmählich auf den zur Unterbrechung notwendigen Betrag anwächst, und dass die Impedanz dabei eine viel grössere Rolle spielt, als etwa ein vorgeschalteter Widerstand. Wird der Widerstand zur Regulierung gross gewählt, so kommt bald die Stufe, wo die zur Unterbrechung notwendige Stromstärke überhaupt nicht mehr erreicht wird.

Alle diese Umstände sind jedoch nicht so ausschlaggebend, dass der erfolgreiche Betrieb einer Röntgenanlage mit Wechselstrom dadurch prinzipiell unmöglich gemacht würde. Es ist richtig, beim Gleichstrombetrieb ist man von einer Reihe Nebenumständen unabhängig, hat seine Anlage mehr in der Hand. Aber auch mit Wechselstrom können Anlagen, die nicht allzusehr angestrengt worden, ganz ausgezeichnete Resultate liefern, die bei etwas verlängerter Expositionszeit ebenso gute Bilder geben, wie Gleichstromapparate.

Die Ausgabe für einen Wechselstrom-Gleichstrom-Umformer ist immerhin ca. 1000—1500 Mk., wenn man ihn ausreichend wählt.

23) Resumee über Stromquellen und Unterbrecher.

Resümieren wir die Winke, die sich für Stromquelle und Unterbrecher beim Betriebe der Röntgenanlage ergeben, so zeigt sich die Ueberlegenheit des Electrolyt-Unterbrechers entsprechender Konstruktionen für alle Arten von Anschlussstrom durch seine Sauberkeit, Einfachheit, Zuverlässigkeit und seine insbesondere bei Gleichstromanschluss unerreichte Leistung. Ein guter Electrolyt-Unterbrecher unterbricht Gleichstrom von 60 bis 220 Volt Spannung entsprechend, wenn freilich im Interesse der Regulierung bei Spannungen über 150 Volt die Benutzung eines die Spannung reduzierenden Apparates, eines Abzweigswiderstandes, nicht unrätlich erscheint (vergl. d. Kap. 41).

Röntgenanlagen mit nicht allzu forciertem Betriebe können an Wechselstrom mit gutem Resultate angeschlossen werden, wenn nicht besondere Umstände in der Zuleitung mitspielen. Hier wäre theoretisch der Boas-Synchron-Betrieb sogar dem Gleichstrombetrieb vorzuziehen, wenn nicht die durch ihn verursachte Umständlichkeit dem Electrolyt-Unterbrecher den Vorzug sicherte.

Will man die Expositionszeiten für gewisse Zwecke besonders abkürzen oder sich die grössere Regulierfähigkeit, die grössere Ausnutzungsfähigkeit des Gleichstrombetriebes zu Nutze machen, so

kommt der Wechselstrom-Gleichstrom-Umformer zur Anwendung. Ihn wählt man nicht zu klein und informiert sich, dass die Gleichstromdynamo gut zum Apparate passt — nicht jede Dynamo von gleicher Leistung ist hierfür durch ihre Eisen- und Kupferdimensionierung in gleichem Masse geeignet.

Bei Batteriebetrieb ist der Platin-Unterbrecher in sorgfältiger Konstruktion für diejenigen Röntgenapparate sehr empfehlenswert, deren Induktorien keine allzu grossen primären Stromstärken erheischen. Der Platinunterbrecher genügt den Forderungen (siehe I. 66) an möglichste Differenz zwischen Schliessungs- und Oeffnungsinduktion und — in geeigneter Modifikation — an möglichste Frequenz gut. Er ist einfach, sauber und billig.

Hat man Instrumentarien, die grosse magnetisierende Ströme verlangen, so wird man notgedrungen zu den Quecksilberunterbrechern der verschiedenen Formen greifen müssen, — Apparate mit Batteriebetrieb gewähren nie ganz die Helligkeit der Durchleuchtung, wie solche mit Starkstrom-Anschluss. Dagegen sind sie hinsichtlich der Schärfe und Güte der Aufnahme bei etwas erhöhter Expositionszeit den mit Lichtstrom betriebenen Modellen nicht nachstehend.

24) Die Reguliermethoden der Apparate.

Hinsichtlich der Regulierungsmethoden der X-Strahlen-Apparate unterscheiden sich die „Systeme", speziell in neuerer Zeit, wie im Bau der Induktoren und der Unterbrecher. Schon im ersten Teile des Buches lernten wir eingehend die Gesichtspunkte kennen, nach denen Leistung und Regulierung der Apparate zu beurteilen ist, und die Faktoren, deren Variation zur Regulierung der Apparate in Frage kommen kann.

Forderungen an die Reguliermethoden.

Die Differenz zwischen Oeffnungs- und Schliessungsinduktion soll gross, d. h. die Spannung jener genügend sein, den Widerstand des Sekundärkreises zu überwinden, während die Spannung der Schliessungsinduktion im Verhältnisse zum Widerstand der Röhre möglichst klein sein soll. Die Intensität jeder einzelnen Entladung des Induktors, die die Röhre passiert, soll gross und zur Regulierung variabel sein. Ebenso hängt die Menge der erzeugten X-Strahlen von der Frequenz der Entladungen ab — also die Regulierung des Apparates von der Regulierung dieser Frequenz.

Ganz allgemein lernten wir noch die Regel kennen, eine Röhre immer möglichst „weich", also mit möglichst geringem Widerstande und so zu benutzen, dass sie für ihre Leistung möglichst wenig belastet wird.

Diese Verhältnisse sind theoretisch am besten dann erfüllt, wenn die sekundäre Windungsanzahl nicht zu gross gewählt wird.

Den praktischen Ausdruck finden diese Momente in der Forderung, dass eine möglichst einfache Regulierung unter möglichst grosser Schonung der Röhre leicht und sicher denjenigen Grad der Belastung finden und einstellen lasse, der für den Zweck der Durchleuchtung und Aufnahme der beste ist.

Konstruktiv ergeben sich daraus für die einzelnen Stromquellen und Unterbrechergattungen verschiedene Konsequenzen.

25) Regulierung der Apparate mit Batteriebetrieb.

Am einfachsten ist die Regulierung von Apparaten mit Batteriebetrieb.

Bei der Anwendung mechanischer Unterbrecher ist die Differenz zwischen Oeffnungs- und Schliessungsinduktion ohnehin gross, und es braucht keine Rücksicht darauf genommen zu werden. Es kommt lediglich darauf an, die Menge der in der Röhre entstehenden X-Strahlen in recht weiten Grenzen und recht einfach regulieren zu können.

Hierzu giebt es zwei Methoden: die Regulierung der Frequenz der Induktionsstösse und die Regulierung der Intensität jedes einzelnen Induktionsstosses.

26) Die Regulierung durch Variation der Frequenz.

An und für sich ist es nun ganz gleichgiltig, welchen Weg man beschreitet. Aber die Regulierung der Frequenz ist nach oben und unten eng begrenzt. Nach oben durch die Unfähigkeit aller mechanischen Unterbrecher, gewisse Frequenzen zu überschreiten, nach unten, weil bei langsamen Unterbrechungen die Röhre stark intermittirend leuchtet, das Röntgenlicht zuckt, flackert und eine Beobachtung unmöglich macht oder doch erschwert.

Der höchste Grad der erreichbaren Freqüenz liegt bei Batteriebetrieb im allgemeinen weit unter dem Grade, den der Induktor gemäss seiner Konstruktion zulassen würde. Die einfachen mechanischen Unterbrecher besitzen (vergl. I. 68) zu geringe Schwingungszahlen, das Gleiche gilt von den Motor-Unterbrechern mit Eintauchkontakten. Bei den rotierenden Quecksilberunterbrechern wird bei Beschleunigung der Umdrehungszahlen die Kontaktdauer verkürzt, sodass die einzelnen Induktionsstösse schwächer ausfallen und so wieder verloren geht, was durch die Beschleunigung gewonnen wurde.

Sollte bei der abgekürzten Kontaktdauer die Intensität der Einzelentladung gross bleiben, so würde das, wie gleich gezeigt werden wird, eine Erhöhung der Betriebsspannung zur Voraussetzung haben. Die Betriebsspannung ist aber beim Akkumulatorenanschluss eben beschränkt. Die Anwendung eines Electrolyt-Unterbrechers ist nicht angängig, weil dieser sehr hohe Betriebsspannungen verlangt (mindestens 60—80 Volt), um seine überlegene Leistung zu geben und zu seiner grossen Leistung auch bedeutenden Strom verbraucht, mehr, als im allgemeinen der doch immerhin beschränkten Kapazität einer Akkumulatorenbatterie zuträglich ist.

Am verhältnismässig besten arbeitet in Bezug auf Frequenz und möglichst grosse Kontaktdauer der (in I. 68) angeführte Platin-Unterbrecher. Doch auch andere Unterbrecher geben hinreichende Frequenz.

27) Forts. Die Bedeutung des Induktors bei der Regulierung.

Da beim Batteriebetrieb die Schliessungsinduktion, wie erwähnt, wenig wirksam ist, so kann hier, ohne die Abnutzung allzusehr zu vergrössern, die sekundäre Windungszahl, die Schlagweite des Induktors grösser gewählt werden, als beim Starkstromanschluss. Dies ist auch deswegen angängig, weil doch eine grössere Frequenz bei dem Batteriebetrieb nicht erreicht werden kann und daher die magnetische Trägheit eines solchen Induktors von grösserer Funkenlänge bei den meisten Unterbrechern nicht so sehr in's Gewicht fällt.

Die Regulierung der Frequenz Forts.

Die minimale Frequenz ist also die, bei welcher die Röhre und der Leuchtschirm ruhiges Licht geben. Daraufhin ist die Anlage zu prüfen. Eine Steigerung der Frequenz soll durch die Regulierung noch möglich sein. Sie ist je nach Bedarf zulässig und rätlich, solange sie zur Erhöhung der Lichthelligkeit beiträgt und ohne zu starke Beanspruchung des Unterbrechers und der Stromquelle ausgeführt werden kann.

Bei Motorunterbrechern.

Die Unterbrechergattungen, welche einen eignen Stromkreis besitzen, gestatten eine Regulierung der Unterbrechungszahl dadurch, dass man in den Stromkreis einen regulierbaren Widerstand einschaltet. Man zwingt den Strom, bevor er zum Motor des Unterbrechers gelangt, einen mehr oder weniger grossen Teil des Widerstandes zu passieren und schwächt auf diese Weise nach dem Ohmschen Gesetz seine Stärke. Die Tourenzahl des Motors hängt von der Stärke des Stromes ab und wird daher durch diese

Regulierung beeinflusst. Die maximale Tourenzahl und Unterbrechungsfrequenz erreicht der Unterbrecher dann, wenn der den Strom abschwächende Widerstand vollständig ausgeschaltet, ausser Wirkung gesetzt ist, und diese Tourenzahl hängt dann nur von der Spannung der Batterie und (bei einem gegebenen Widerstande) dem Widerstande des Motors (sowie von der durch ihn zu leistenden Antriebsarbeit) ab. Es muss infolgedessen der Motor so gebaut sein, dass er der Spannung der Batterie gerade entspricht, Zellenanzahl und Motorkonstruktion müssen übereinstimmen. Man kann deshalb auch den Unterbrecher für eine andere Spannung nicht immer ohne weiteres benutzen.

28) Forts. Die Grösse der Batterie.

Die Spannungen der Batterien für den Betrieb von Röntgenapparaten wähle man, um eine möglichste Frequenz erreichen zu können, nicht zu klein, 26—40 Volt, also 13—20 Zellen in einige Kästen des leichteren Transportes halber zusammengebaut, dürften durchschnittlich genügen. Bei Wahl der Batterien sind natürlich Einbau und Qualität der Akkumulatorenzellen zu beachten. Die Kapazität beträgt im Durchschnitt 18—40 Ampèrestunden. Die Batterien der meisten Firmen, die sich mit deren Herstellung befassen, sind recht gut und solide ausgeführt. Das Electrotechnische Laboratorium Aschaffenburg ist*) dazu übergegangen, ausschliesslich solche Zellen zu benutzen, die für den Betrieb electrischer Automobile in der Industrie gebraucht werden. Diese Zellen gewährleisten beim Transporte den besten Schutz gegen Bruch und leiden auch am wenigsten bei stossweisen Entladungen, die ja bei den Röntgenanlagen durch Unachtsamkeit immerhin zuweilen vorkommen können.

29) Die Regulierung durch Variation d. Intensität.

Die Intensität jeder einzelnen Entladung als zweites Moment der Regulierung hängt von Faktoren ab, die wir in (I. 40 ff., 42, 55, 56) genau kennen lernten. Es erscheint zunächst ganz gleichgiltig, welchen dieser Faktoren — magnetisches Moment, Ampèrezahl, Windungszahl — wir zur Variierung der Intensität wählen. Voraussetzung für die Güte des Röntgenapparates ist, dass er gestattet, überhaupt kräftige Öffnungsinduktionsentladungen der Röhre zuzuführen, also dass bei Stromschluss ein kräftiges magnetisches Feld entsteht, dass die Unterbrechung dann plötzlich erfolgt und der entstehende Öffnungsextrastrom durch den Kondensator möglichst unschädlich gemacht wird.

*) nach Angabe des Verfassers.

a) Die Rolle des Unterbrechers.

Bei allen mechanischen Unterbrechern entsteht im Momente der Stromunterbrechung ein „Öffnungsfunke“ zwischen den von einander sich trennenden Kontakten. Dieser Öffnungsfunke wird durch den Öffnungs-Extrastrom hervorgebracht, der ja bei dem rapiden Abfall der Stromstärke im Augenblick der Unterbrechung eine sehr hohe Spannung besitzt. Tritt in diesem Augenblicke der Kondensator nur unzureichend in Thätigkeit, so fliesst der Öffnungs-Extrastrom in diesem Funken und setzt den unterbrochenen Strom fort, macht den Abfall der Feldstärke bei der Unterbrechung flach, sodass die sekundäre Öffnungsinduktion gering wird.

Zwischen den zur Unterbrechung verwendeten Metallen, Quecksilber und Platin, bildet sich ohnehin schon der Öffnungsfunke schwerer, wie zwischen anderen Metallen. Deswegen werden diese Metalle ausschliesslich für die Unterbrecher verwendet. Die Intensität des Unterbrechungs-Induktionsstosses hängt ab von der Rapidität der Unterbrechung, d. h. der Geschwindigkeit der Entfernung der beiden Kontakte von einander und der entsprechenden Kapazität des Kondensators. Die Kapazität des Kondensators muss also sorgsam mit dem Instrumentarium abgestimmt sein.

Auf die Einzelheiten der Unterbrecherkonstruktionen bezüglich der Rapidität der Entfernung ihrer Kontakte soll nicht näher eingegangen werden. Die gewöhnlichen Arten der Unterbrecher genügen dieser Forderung durchweg, am wenigsten wohl die Gleitkontaktunterbrecher. Die Quecksilberunterbrecher arbeiten alle mit einer sogenannten „Deckflüssigkeit“, d. h. die Unterbrechung findet nicht an der Luft, sondern in einer Flüssigkeit statt (Wasser, Petroleum, Alkohol), die den Funken löschen soll.

b) des Induktors.

Die Vermehrung der Stärke des Feldes vor der Unterbrechung und damit die Intensität der Entladung könnte theoretisch durch Veränderung der Eisenmenge oder Windungszahl der Primärspule erfolgen. Beide Methoden sind praktisch nicht angängig (vergl. I. 42 und 60—64 ff.). Die Vermehrung der Windungszahl würde zugleich den Ohm'schen und noch mehr den Impedanzwiderstand, damit die magnetische Trägheit vergrössern, die Frequenz erniedrigen. Zugleich würde der Öffnungs-Extrastrom steigen und eine Regulierung der Kapazität des Kondensators nötig machen. Endlich würde sie umständlich sein und das Instrumentarium teurer machen. Dabei bietet die Regulierung der Windungszahl gegenüber der Regulierung der Ampèrezahl nicht den geringsten Vorteil. Im Gegenteil: ein

sorgfältig gebauter Induktor besitzt günstige Verhältnisse zwischen dem Kupfergewichte (I. 40) der primären und sekundären Spule und zwischen diesen und der Eisenmenge. An diesen, vom Konstrukteur mit Rücksicht auf den Gebrauchszweck einmal eruierten Verhältnissen kann nichts geändert werden, ohne den Wert des ganzen Instrumentes zugleich zu beeinträchtigen.

c) der Ampèrezahl.

Für die Regulierung der Feldstärke im Unterbrechungsmomente bleibt als einfachster und allein technisch berechtigter Weg die Variation der Ampèrezahl. Diese kann, nach dem (modifizierten) Ohm'schen Gesetz (I. 43) auf zweierlei Weise geschehen, durch Änderung der Betriebsspannung, der Voltzahl und durch Regulierung des (Impedanz)-Widerstandes.

Da die Betriebsspannung gegeben und bei Batteriebetrieb nur umständlich zu ändern ist, reguliert man die Ampèrezahl ganz allgemein durch einen in dem Induktorstromkreis eingeschalteten, ganz einfachen Regulierwiderstand. Die Widerstandsgrösse dieses Rheostaten ist vom Konstrukteur gut dem ganzen Instrumentarium anzupassen. Die Regulierung soll in möglichst feiner Abstufung und möglichst bequem vorgenommen werden können. Auch soll hier — wie überall — der Widerstand nicht zu klein dimensioniert sein, damit er beim Stromdurchgang nicht zu heiss wird.

30) Kriterium der Regulierung.

Ob nun die Regulierung mehr durch die Frequenz der Unterbrechungen oder durch die Intensität der Einzelentladung oder durch beide Methoden zugleich ausgeführt wird, ist ganz gleichgiltig. Über die Möglichkeit einer guten Regulierung entscheidet einzig und allein die eingeschaltete Röhre, deren Leistung man auf einfache Weise bei ruhigem Licht innerhalb der durch die Leistung des Apparates gegebenen Grenze möglichst fein abstufen und möglichst tief regulieren kann — ohne dass der Unterbrecher oder ein andrer Teil des Apparates dabei in seiner Arbeit gestört oder beinträchtigt wird.

31) Die Regulierung bei Starkstrombetrieb, Gleichstromanschluss.

Die Regulierung der an Starkstrom angeschlossenen Apparate, und zwar zunächst der an Gleichstrom angeschlossenen, untersteht genau denselben Gesetzen und Erwägungen. Auch hier kann prinzipiell die Regulierung durch Änderung der Intensität der Einzel-Entladung und durch Variation ihrer Frequenz erfolgen. Nur insofern erleiden die Verhältnisse eine Verschiebung, als der erhöhten Spannung und der Eigenart des Electrolytischen Unterbrechers Rechnung getragen werden muss.

Je höher die Betriebsspannung ist, desto kürzer kann die Kontaktdauer sein, um die Stärke des magnetischen Feldes herbeizuführen, die zur Erzeugung eines intensiven Öffnungsinduktionsstosses nötig ist (vergl. II. 35). Es kann bei Starkstromanschluss infolge der erhöhten Spannung also die Frequenz der Unterbrechung viel höher gesteigert werden; zugleich aber nimmt durch das raschere Anwachsen des Feldes beim Stromschlusse die Schliessungsinduktion beträchtlich zu. Vermöge der erhöhten Spannung muss ihr Wert jetzt besonders in Rücksicht gezogen werden. 32) Forts. Bedeutung der Spannung,

Es gilt also, die schädliche Schliessungsinduktion so klein wie möglich zu machen und vor allem zu diesem Zwecke die sekundäre Windungsanzahl nicht grösser zu wählen, als es nötig ist.

Arbeitet man bei Lichtleitungsanschluss mit Funkeninduktoren von grosser Funkenlänge, so erreicht die Schliessungsinduktion fast unvermeidlich einen Wert, der den Widerstand der weichen Röhren, mit denen wir ja im Röntgenverfahren ausschliesslich arbeiten müssen, überwindet und (I. 58, 62, 63, 83) ihnen gefährlich wird. Um die Spannung der Schliessungsinduktion trotz der grösseren sekundären Windungszahl zu erniedrigen, kann man entweder die Stromstärke abschwächen oder den Anstieg der Feldstärke recht flach zu machen versuchen. Dies könnte man ohne weiteres durch Reduzierung der Betriebsspannung, wenn der Electrolytische Unterbrecher nicht an hohe Betriebsspannung (I. 66) gebunden wäre. Man kann die Anstiegkurve aber auch dadurch verflachen, dass man der Primärspule eine recht grosse magnetische Trägheit verleiht, also Eisenmenge und Windungszahl, mit einem Wort den Selbstinduktionscoefficient, primär gross macht. Durch Extrastrom und Hysteresis wächst der Strom langsamer zu seiner maximalen Höhe und die Spannung der Schliessungsinduktion erreicht einen nur geringeren, der Röhre nicht so sehr gefährlichen Grad. 33) Forts. und des Induktors für die Regulierung.

Bei der Unterbrechung ist aber diese erhöhte magnetische Trägheit in ganz demselben Masse wirksam und es entsteht ein verstärkter Öffnungsextrastrom, der nun auch den Verlauf der Abfallkurve verflacht. Beim Electrolytunterbrecher-Betrieb kann dem erhöhten Öffnungsextrastrom nicht begegnet werden. Infolge dessen nimmt jetzt auch die Spannung der Unterbrechungsinduktion ab. Man reduziert also die schädliche Schliessungsinduktion und die nützliche Öffnungsinduktion gleichzeitig.

Zugleich geht diese Reduktion wieder auf Kosten der Frequenz.

denn die erhöhte magnetische Trägheit gestattet nicht mehr, den Vorteil der höheren Spannung und des Electrolytunterbrechers auszunützen. Die Unterbrechungszahl nimmt ab, und zwar entspricht diese Verlangsamung gerade der Funkenlänge, d. i. der sekundären Windungsanzahl, denn je grösser diese ist, desto mehr ist man gezwungen, durch Erhöhung der magnetischen Trägheit die Schliessungs- und damit zugleich die Öffnungsinduktion herabzusetzen.

Bei Anwendung eines Induktors von geringerer sekundärer Windungszahl ist die Schliessungsinduktionsspannung bei richtiger Konstruktion so klein, dass sie die weiche Röhre nicht wesentlich schädigt. Die Öffnungsinduktionsspannung ist nur so gross, als es notwendig ist, um der Röhre die intensivsten Entladungen zuzuführen, die ihr zuträglich sind. Die Differenz zwischen Öffnungs- und Schliessungsinduktion ist also von vornherein der Röhre, d. h. ihrem Widerstande angepasst, d. h. die Verhältnisse sind so, wie sie bei grossen sekundären Windungszahlen erst künstlich durch Reduktion von Schliessungs- und Öffnungsinduktion geschaffen werden müssen. Ein Unterschied besteht darin, dass man bei der Anwendung grösserer sekundärer Windungszahl (Funkenlänge) der meisten Vorteile verlustig geht, die erhöhte Spannung und Electrolyt-Unterbrecher bieten. Die Frequenz wird reduziert (und dadurch die Leistung — Röntgenlichtmenge), der Electrolyt-Unterbrecher in Arbeitsverhältnisse gedrängt, für die er seiner Natur nach sich nicht eignet und die darum seine Rationalität gewaltig beeinträchtigen.

Damit soll nun nicht gesagt sein, dass mit grossen Funkenlängen ausgestattete Induktorien gute Aufnahmen weniger zulassen. Die Güte der Aufnahme hängt nur von der Röhre und der Geschicklichkeit des Aufnehmenden ab, sobald das Instrumentarium den mässigsten Anforderungen an Leistung nur einigermassen gerecht wird. Dagegen geht aus diesen Zusammenhängen die theoretische Bestätigung der Thatsache hervor, dass langdauernde helle Durchleuchtungen bei konstantem, vollkommen ruhigem Licht (grosser Frequenz) mit weichen Röhren, also Durchleuchtungen, wie wir sie alle zu erreichen suchen, bei möglichst reduzierter sekundärer Windungsanzahl zu erreichen sind.

In den letzten Jahren der Entwicklung unserer Technik ist gerade unter dem Namen „Walterschaltung“ unter Aufwand grosser Reklame die Regulierung der primären Windungszahl der Induk-

torien empfohlen worden. Es wurde betont, dass hierdurch die sekundäre Schliessungsinduktion besonders reguliert, also bei Benutzung weicher Röhren erniedrigt werden könnte. Das ist auch richtig, jedoch wurde dabei nicht gesagt, dass im selben Masse die Öffnungsinduktion herabgedrückt wird und die ganze Methode nur dazu dient, die Betriebsverhältnisse denen mit Induktoren von kleinerer sekundärer Windungszahl möglichst zu nähern, und dass dabei grosse Nachteile mit in den Kauf genommen werden müssen. Wenn die magnetische Trägheit, der Selbstinduktionscoefficient, des Induktoriums von Anfang an hinreichend gross ist, so kann die Regulierung eines Induktoriums ebensowohl durch Regelung der Stromstärke bewirkt werden, denn auch hierdurch wird Schliessungs- und Öffnungsinduktion beeinflusst.

Da also für das Röntgenverfahren diese Methode nichts bringt, so hat sie auch niemals in den mit der Materie vertrauten Physikerkreisen Anklang gefunden. Gelegentlich der Ausstellung des Naturforscher- und Ärztetages in Hamburg, wo seiner Zeit diese Apparate zuerst gezeigt wurden, hat Boas den Wert der Walterschaltung durch Klarlegung der geschilderten Verhältnisse in obigem Sinne charakterisiert. Der Wert dieser Regulierung für gewisse physikalische Zwecke, bei denen grosse sekundäre Windungszahlen der Induktorien rätlich erscheinen, ist natürlich durchaus nicht durch diese Ausführungen berührt. Für die Entwicklung der Röntgentechnik war die „Walterschaltung“ deswegen schädlich, weil sie durch ihre Komplikation und ihren teuern Preis manche, die ihre Wertlosigkeit und Unnotwendigkeit nicht durchschauen konnten, an der Ausübung des Verfahrens überhaupt hinderte.

34) Forts. Die Regulierung durch Aenderung d. Betriebsspannung.

Für die Regulierung der Intensität der Entladungen kommen wieder zwei Wege, die Spannungs- und die Widerstandsregulierung, in Frage. Bei Wahl der Betriebsspannung sind folgende Erwägungen ausschlaggebend.

Die Electrolyt-Unterbrecher (nach Wehnelt etc.) geben ihre überlegenste Leistung bei Spannungen von 80—150 Volt. Bei diesen Spannungen versagen sie nicht leicht, arbeiten gleichmässig und exakt und ermöglichen die Erreichung grosser Frequenzen bei verhältnismässiger Rationalität. Auch sind sie bei diesen Spannungen am leichtesten durch die Regulierung zu beeinflussen.

Dagegen nimmt, wie wir früher (39) sahen, die Schliessungsinduktion mit der Betriebsspannung zu.

Bei Apparaten, deren Induktoren keine grosse sekundäre Windungszahl besitzen, kann bis zu 150 Volt Betriebsspannung die Einrichtung ganz gut ohne Reduktion der Voltzahl betrieben werden, ohne dass man die Schliessungsinduktion allzusehr zu fürchten hätte. Dagegen ist bei Spannungen von mehr wie 150 Volt die

Benutzung einer Vorrichtung zur Reduktion der Betriebsspannung recht zu empfehlen. —

Ein langer Widerstandsdraht von ca. 20 m ist mit seinen Enden an die Pole einer Starkstromleitung von 220 Volt angeschlossen. (Fig. 31).

Es fliesst infolge der Spannung ein Strom von $\frac{220}{20} = 11$ Ampère durch den Draht. Die Potentiale der Endpunkte des Drahtes haben

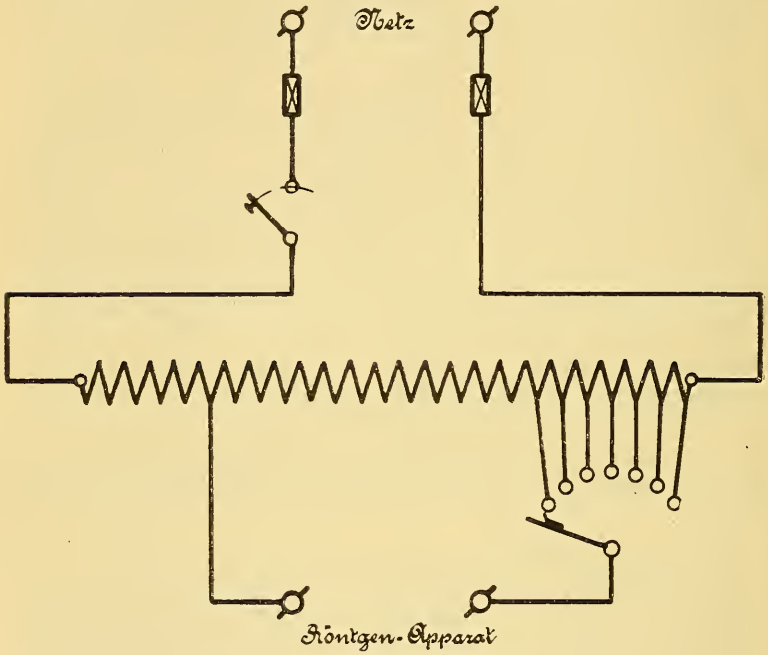


Fig. 31.

die Differenz 220. Punkte des Drahtes, die zwischen den Endpunkten liegen, haben geringere Potentialunterschiede gegenüber den beiden Endpunkten. So wird ein Punkt, der gerade in der Mitte des langen Drahtes liegt, mit den Endpunkten eine Potentialdifferenz von 110 haben. Bietet man der Electricität einen zweiten Weg zwischen diesen beiden Punkten, so entsteht ein Strom mit der Spannung 110 Volt. Die beiden Stromkreise sind parallel geschaltet.

Liegt in dem zweiten Stromkreise ein Röntgenapparat, so arbeitet er mit einer Spannung von 110 Volt.

Wird der Strom einer bestimmten Spannung durch einen Widerstand geleitet, so kann man Stromkreise mit Teilen dieser Spannungen betreiben, indem man sie parallel zu Teilen des Widerstandes schaltet.

Die Spannung des Parallelkreises entspricht der Grösse des Widerstandsteiles, dem er parallel geschaltet ist. In dem obengenannten Falle war der Abzweigstromkreis dem halben Widerstande parallel geschaltet und die Spannung infolgedessen $^1/_2$ gleich 110 Volt. Wäre der Abzweig zu $^2/_3$ des gesamten Widerstandes parallel gelegt worden, so wäre die Betriebsspannung 165 Volt gewesen. Ist durch eine Regulierung die Möglichkeit gegeben, den Abzweig einem beliebigen Teile des Widerstandes parallel zu legen, so hat man ein einfaches Mittel die Betriebsspannung zu regulieren.

Diese Widerstandsapparate heissen Voltabschalter, Voltregulatoren oder Abzweigwiderstände. Sie können regulierbar gebaut werden.

Die Benutzung solcher Apparate erfordert nach den Vorschriften des Verbandes natürlich eine doppelpolige Sicherung, einen Ausschalter. Der Stromverbrauch des Apparates wächst, denn der fortwährend durch den Widerstandsdraht fliessende Strom geht verloren. Das fällt nicht eben schwer in's Gewicht, wie ja überhaupt der Stromverbrauch der Röntgenanlagen ein minimaler ist.

Durch den Abzweigwiderstand die Spannung, dadurch die Stromstärke und die Intensität der Einzelentladung zu variieren ist ein durchaus gangbarer und empfehlenswerter Weg.

Ist die Primärspannung nicht zu hoch, also 120—150 Volt, so kann unter der öfter gemachten Voraussetzung (I. 61, 63; II. 40) von der Benutzung des Abzweigwiderstandes abgesehen werden. Ein guter Regulierwiderstand, der mit dem Unterbrecher und dem Induktor „abgestimmt“ ist, genügt hier, um die Leistung in den weitesten Grenzen zu verändern, vorausgesetzt, dass der Unterbrecher im ganzen Regulierbereich sicher arbeitet. Damit er dies thut, muss er (s. I. 65) entsprechend konstruiert sein, aber auch der Widerstand muss hinsichtlich seines Selbstinduktionscoefficienten übereinstimmen. Je geringer der Strombetrag ist, den der Electrolyt-Unterbrecher erhält, desto grösser muss die Selbstinduktion sein, damit er nicht versagt. Deshalb muss bei solchen Widerständen jedem Betrage an Ohm'schem Widerstand auch eine gewisse Erhöhung der Selbstinduktion durch den Widerstand entsprechen.

35) Forts. und der Ampèrezahl.

Damit gelingt es dann leicht und einfach, für jede Röhre die Belastung ausfindig zu machen, die ihr nützlich ist, bei der sie am

wenigsten von der Schliessungsinduktion leidet und bei entsprechender Frequenz eine helle und deutliche „weiche“ Durchleuchtung giebt.

36) Forts. Die Regulierung der Frequenz.

Die Unterbrechungszahl beim Betrieb mit dem Wehnelt-Unterbrecher hängt auch von dessen Einstellung ab (s. I. 66). Gemäss (II. 15) ist die Unterbrechungszahl in einem gewissen Bereiche, der der Eigenart des Unterbrechers entspricht, am günstigsten. Des-

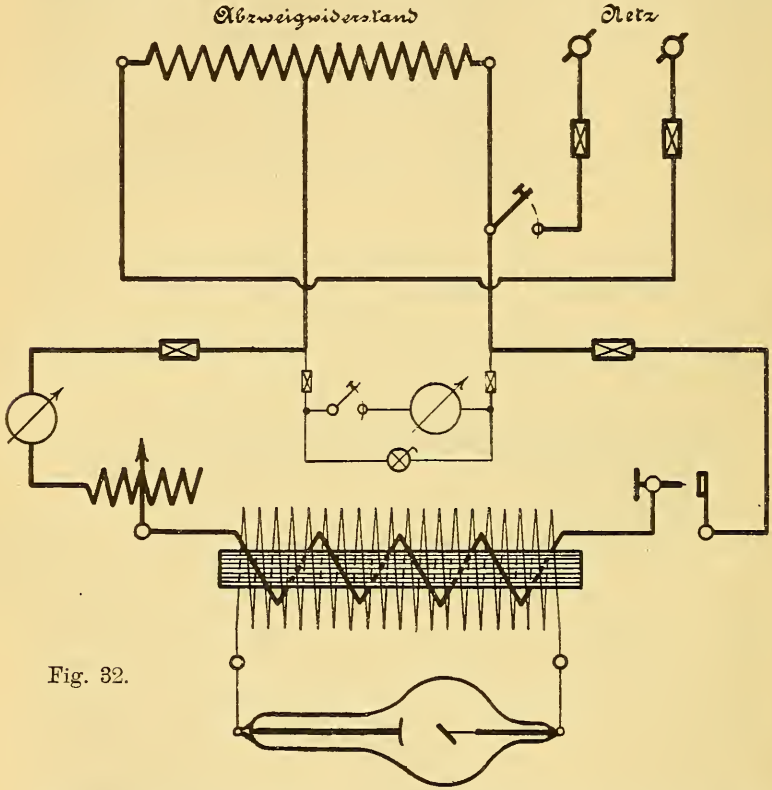


Fig. 32.

halb ist die Regulierung der Unterbrechungszahl durch die Unterbrecher selbst wenig wichtig. Bei Verstärkung des Stromes durch Ausschalten eines Teiles des Widerstandes wächst von selbst auch die Frequenz des Electrolyt-Unterbrechers.

37) Kriterium der Regulierung.

Ausschlaggebend für die Beurteilung der Regulierbarkeit der Apparate, ein Moment, das nicht weniger wichtig ist, wie die Leistung, ist einzig die Röntgenröhre, die Beobachtung ihres Lichtes.

Jede für das Röntgenverfahren brauchbare Röhre, sei sie weich oder hart, muss man mit dem Apparate ihrem Zustande entsprechend mehr oder weniger und möglichst ohne Wirkung der Selbstinduktion belasten können, so dass sie ein ruhiges, helles Licht giebt und dabei sich möglichst wenig erwärmt. Die Lichthelligkeit sollte dabei noch in weiteren Grenzen zu regulieren sein.

Bei Apparaten mit grosser sekundärer Windungszahl ist man zur Ermässigung der Schliessungsinduktion wohl oder übel gezwungen, die Spannung auch bei 150 Volt noch, ja sogar bei 120 und 110 Volt, auf geringere Beträge zu reduzieren. Die Schaltung der Anlage wird mit Rücksicht auf diese Regulatoren, wie Fig. 32 es zeigt, modifiziert.

Der Einschalter der Röntgenanlage mit Abzweigwiderstand muss vor den Voltabschalter gelegt werden, damit der ganze Strom, nicht blos der durch die Verbrauchsleitung gehende Teil, ausgeschaltet ist.

Sind die zum Betriebe zur Verfügung stehenden Spannungen noch höher als 220 Volt, so eignen sie sich zum direkten Anschluss einer Röntgeneinrichtung durchaus nicht mehr, schon deswegen, weil der Electrolytische Unterbrecher solche Spannungen nicht mehr rein und störungsfrei unterbricht.

Die Benutzung eines Abzweigwiderstandes wird mit der grösseren Höhe der Spannung immer weniger rationell. Denn der Arbeitsstromkreis muss einem immer kleineren Teile des Gesamtwiderstandes parallel geschaltet werden, um die gewünschte niedere Betriebsspannung zu erreichen, der Stromverlust wird immer grösser. Darum empfiehlt sich bei Anlagen von über 250 Volt jedenfalls die Benutzung eines Gleichstrom-Gleichstrom-Umformers, d. h. eines Motors für die gegebene hohe Spannung, der eine Dynamo zur Erzeugung der gewünschten niedrigeren Spannung betreibt. Ueber diese Umformer gilt dasselbe, was (II. 30) über Wechselstrom-Gleichstrom-Umformer gesagt wurde.

38) Die Regulierung bei Wechselstrom-Anschluss

Bei Wechselstrom-Anschlussbetrieb ist die Regulierung der Apparate, wie schon (II. 31) ausgeführt, sehr beschränkt. Die Unterbrechungszahl ist gegeben durch die Periodenzahl des Wechselstromes, die Regulierung der Intensität der Einzelentladung kann nicht in so hohem Grade, aber dennoch immerhin genügend bethätigt werden.

39) Technisches über die Röhren.

Es bleibt uns noch weniges über die Röhre selbst, ihre Konstruktion und ihren praktischen Gebrauch zu sagen.

Röhrenkonstruktionen giebt es eine Menge und wohl alle sind

mehr oder weniger gut. Es kommt in der That viel mehr auf die Geschicklichkeit der Behandlung und das Beherrschen des Apparates an, als auf die Wahl des Fabrikates.

a) Konstruktive Winke.

Jedenfalls sollte man nie Röhren benutzen, bei denen keine Regenerierungsmöglichkeit gegeben ist. Man überzeuge sich bei der Wahl der Röhre von ihrer scharfen Bildzeichnung, von ihrer „Weichheit"; je grösser das Volum, desto grösser ist die Lebensdauer, desto fraglicher aber zugleich die Bildschärfe, wenn nicht hierfür besondere Vorkehrungen getroffen sind.

Soll die Röhre für angestrengten Betrieb taugen, so mag ihre Antikathode krättig hinterlegt, nach Dr. M. Levy auf Porzellan befestigt oder, wenn man die Umständlichkeit nicht fürchtet, auch mit Wasser gekühlt sein. Die Röhren gelingen nicht alle gleich gut. Man probiere sie auf Widerstandskraft, Bildschärfe und möglichst weiche Bildgabe, bevor man sie kauft. Man lasse sie sich zur Probe oder Ansicht kommen.

Auch nicht mit jedem Instrumentarium und jeder Stromart arbeitet jede Röhre gleich gut. Dies hängt im Wesentlichen ab von der Herstellung der Röhren. Die Röhren werden bei der Evakuation erwärmt und zugleich wird der Strom eines Induktors hindurchgeschickt. Röhren, die unter Benutzung von geringeren Schlagweiten evakuiert wurden, vertragen Induktorien mit grossen Funkenlängen schlecht (werden rasch hart), und umgekehrt gelangen Röhren, die mit grossen Funkenlängen evakuiert wurden, bei Apparaten mit geringerer sekundärer Windungszahl nicht zur vollen Leistung. Im allgemeinen werden Röhren aber um so schneller hart, ist also der Röhrenverbrauch bei gleicher Leistung um so grösser, je höher die sekundäre Windungsanzahl (sekundäre Funkenlänge des Induktors) ist.

b) Die Durchdringungsfähigkeit.

Die Durchleuchtung erfordert im allgemeinen etwas härtere Röhren, als die Aufnahme. Bei der Aufnahme soll die Durchdringungsfähigkeit der Strahlen nur eben noch hinreichen, das aufzunehmende Objekt zu durchdringen. Sind die Röhren härter, als absolut notwendig, so bewirkt dies nur erhöhte Bildung von Sekundärstrahlen, erhöhten Bildschleier.

Vorrichtungen zum Messen der Durchdringungsfähigkeit der X-Strahlen wurden von mehreren Autoren angegeben. Sie beruhen alle auf der Benutzung einiger verschieden dicker Metallstücke, die von einem unter Einfluss der X-Strahlen fluoreszierenden Schirm

überdeckt sind. Wird eines der Metallstücke durchstrahlt, so verrät sich dies durch Fluoreszens des Leuchtschirmes und man schliesst hieraus auf die Durchdringungsfähigkeit der X-Strahlen.

Grosse Bedeutung für den Praktiker haben diese Vorrichtungen nicht. Denn die notwendige Durchdringungsfähigkeit der X-Strahlen bei Aufnahme des menschlichen Körpers ist bei den einzelnen Fällen doch beträchtlich und sehr fein unterschieden und lässt sich nicht so einfach in die Skala einer Messvorrichtung eingliedern. Am besten ist es immer, man prüft an dem aufzunehmenden Objekte selbst und merkt sich dabei, dass die Strahlen eben noch hinreichend durchdringungsfähig sein sollen, die Röhre also so weich wie möglich genommen werden muss.

Bequem und vorteilhaft ist es dabei, eine Vorrichtung zu besitzen, durch die man die Durchdringungsfähigkeit leicht regulieren kann (s. I. 88, 89). Die zu häufig vorgenommene Vakuumregenerierung freilich beeinträchtigt die Güte und Dauerhaftigkeit der Röhre (I. 88).

c) Winke für die Behandlung.

Über die Regulierung der Belastung der Röhre ist in dem ersten Kapitel an verschiedenen Stellen ausführlich gesprochen worden. Man belastet die Röhre so wenig wie möglich, um noch genügende Bildhelligkeit zu erhalten. Befolgt man diese Regel und schützt die Röhre gegen die Schliessungsinduktion, so kann man ihre Lebensdauer ganz ausserordentlich verlängern.

d) Ein Mittel gegen die Schliessungsinduktion (Ventilröhre).

Ein äusserst sinnreiches und wirkungsvolles Mittel, um die schädliche Schliessungsinduktion noch mehr zu reduzieren und möglichst ganz unschädlich zu machen, ist von Gundelach und Dr. M. Levy erdacht worden.

Nach Untersuchungen von Puluy und Hittorf laden Kathodenstrahlen alle Körper, die auf dem Wege getroffen werden, mit negativer Electricität, und diese negative electrische Ladung wirkt der Entstehung von Kathodenstrahlen selbst entgegen, sucht sie zu unterdrücken.

Eine Glasröhre ist soweit evakuiert, dass in ihr Kathodenstrahlen auftreten, und besitzt eine in ein Glasrohr eingeschlossene und eine freistehende Electrode. Induktionsstösse, die von der freistehenden zur eingeschlossenen Electrode gehen, passieren, dagegen laden umgekehrt wandernde Kathodenstrahlen die Einschliessung der ersten Electrode, und diese Ladung sucht die in dieser Richtung verlaufenden Impulse zu unterdrücken.

Schaltet man eine solche Röhre, die Drosselröhre oder Ventilröhre heisst, in den sekundären Stromkreis an irgend einer Stelle ein, so

dass die eingeschlossene Elektrode beim Durchgang der Schliessungsinduktion Kathode wird, während sie beim Öffnungsinduktionsstross Anode ist, so setzt sie im ersteren Falle dem Durchgange des Stromes einen Widerstand entgegen, schwächt also die Wirkung der Schliessungsinduktion erheblich, während sie die Öffnungsinduktion, mit der wir arbeiten, fast ungehindert passieren lässt.

Die Anwendung dieser Drosselröhren ist ausserordentlich ratsam, schont die Röntgenröhre ungemein und sollte nie versäumt werden, insbesondere bei Anwendung von Induktoren mit grösserer sekundärer Windungszahl oder bei Anschluss an höhere Betriebsspannungen.

e) Aeussere Merkmale der Schliessungsinduktion.

Die Schädlichkeit der Schliessungsinduktion, die sich hauptsächlich in weichen Röhren durch Erwärmung und Zerstäubung der Antikathode geltend macht, lässt sich an Fluoreszens der Röhre selbst bemerken. Denn sie macht ja bei ihrem Durchgange durch die Röhre für einen Augenblick Antikathode und Hilfsanode der Röhre zu Kathoden, und diese senden Kathodenstrahlen aus, welche Fluoreszensflecke und Ringe auf der getroffenen Glaswand hervorbringen. Diese unregelmässigen Flecke deuten also das Vorhandensein von Schliessungsinduktion an. Man kann sie sehr leicht experimentell dadurch erzeugen, dass man den Strom verkehrt durch die Röhre gehen lässt und so Antikathode und Hilfsanode zu Kathoden macht. Diese Schliessungsinduktionserscheinungen sind also Anzeichen vorhandener Schädlichkeiten und sollen möglichst durch die angegebenen (I. 63; II. 40, 41, 46d) Mittel beseitigt werden.

f) Das Altern der Röhren.

Die Röhren zählen im Apparate zu den Verbrauchsgegenständen. Man muss sich von vornherein klar machen, dass sie nicht ewig währen. Mit zunehmendem Alter wird jede Röhre „hart“, die Glaswände beschlagen sich mit metallischem Belage, die Vakuumregenier-Vorrichtung funktioniert nicht mehr oder wirkt nur momentan. Die Bilder werden grau, ohne Schärfe und Kontrast. Die Röhren repräsentieren dann nur noch den geringen Wert der in ihnen befindlichen Platinteilchen — etwa 1 bis 2 Mk. Wie lange eine Röhre gut funktionierend anhält, hängt von ihrer Herstellung, von ihrem Volumen, besonders aber von dem verwendeten Instrumentarium und der sachgemässen Behandlung und Regulierung ab.

g) Schädlichkeit und Vermeidung des Verkehrtschaltens.

Wesentlich ist auch, dass man die Röhre nicht aus Versehen längere Zeit verkehrt in den Stromkreis einschaltet, also den Pluspol des Induktors mit der Kathode und den Minuspol mit der Anode verbindet, weil dadurch die Antikathode zerstäubt wird. Die Pole

der Sekundärspule sind leicht zu finden, da in der Luft die Funkenausgleiche am leichtesten dann vor sich gehen, wenn sie von einer Spitze als Pluspol zu einer Platte als Minuspol übergehen. Würde Spitze und Platte vertauscht, so würden die vom Rande der Scheibe aus springenden Funken die Verwechslung anzeigen. Sind sie an der richtigen Stelle, so wird Antikathode der Röhre mit der Spitze, Kathode mit der Scheibe verbunden. Dass die Verbindung durch wohlisolierte flexible Leitungen erfolgt, sogenannte Hochspannungskabel, sei nebenbei erwähnt.

Bei Wahl und Betrieb der Apparate beachte man wohl, dass 40) Resumee.
lediglich die an der Röhre hervortretende möglichste Leistung bei geringster Abnutzung und eine in weiten Grenzen ermöglichte Regulierung das Ausschlaggebende sind. Ueber die Aufstellung und Instandhaltung der einzelnen Konstruktionen geben die Kataloge und Anleitungen der einzelnen Fabriken Aufklärung. Man lasse es sich nicht verdriessen — dies sei der letzte unter den dem praktischen Betriebe gewidmeten Ratschlägen —, sich auch die Gebrauchsanleitungen eingehend anzusehen, und zwar womöglich vor getroffener Wahl — denn die lassen uns oft Manches finden, und schliessen, wenn wir schon vorher orientiert sind über die Gesetze und Vorgänge im Röntgenapparat, die für seine Konstruktion massgebend sind.

B.

Die Wiedergabeverfahren (Durchleuchtung und Photographie).

1. Das Röntgenlaboratorium.

In der Möglichkeit einer Selbstkontrolle der nach bisherigen Methoden erhobenen Befunde, in der Schärfung der übrigen zur Beobachtung verwandten Sinne durch den Vergleich mit dem Ergebnis des Augenscheins auf Fluorescenzschirm und Photogramm liegt der förderlichste Wert der Röntgenuntersuchung für den Praktiker. Nicht die ausserordentlichen diagnostischen Kunststücke dieser immer mehr vervollkommneten Technik, sondern die weitgehende, der Selbstbelehrung in ausgedehntem Masse dienende Verwendbarkeit des Verfahrens in alltäglichen Fällen der allgemeinen Praxis lassen es

wünschenswert erscheinen, die Röntgenuntersuchung mehr und mehr zum Allgemeingut der Aerztewelt zu machen.

Dazu gehört aber eine möglichste Einfachheit des ganzen Apparates, nicht die von mancher Seite begünstigte, ein Monopol der reichen Aerzte und opulent ausgestatteter Institute schaffende Ueberreicherung der Einrichtung mit eben so hübschen als oft entbehrlichen Finessen. „Simplex sigillum veri“ gilt auch von den Hilfsmitteln ärztlicher Thätigkeit, und so wollen wir sehen, wie einfach, nicht wie kompliziert ein Röntgenlaboratorium sein kann, um seine Aufgabe ganz zu erfüllen.

1) Verdunkelung.

Erste Bedingung ist eine bequeme Verdunkelung des verfügbaren Raumes, sei es, dass in die Fensternische ein lichtdicht bespannter Rahmen leicht und sicher eingefügt, durch ritzenlose, dichte Fensterläden oder Rolljalousieen das Tageslicht völlig ausgeschaltet werden kann, oder durch einen besonderen, in seitlichen, lichtsicheren Nuten gleitenden, geschwärzten und gesteiften Rollvorhang der Zweck jeweils handlich und rasch erreicht wird.

2) Tageslicht u. Fluorescenzlicht.

Mit gleicher Sorgfalt sind die Thürspalten und Schlüssellöcher abzudichten, denn es ist nicht zu vergessen, dass wir mit Hilfe von Fluorescenzerscheinungen beobachten. Der geringste Einfall selbst von reflektiertem Tageslicht setzt die Empfindlichkeit der Netzhaut für Fluorescenzlicht ganz bedeutend herab, nicht blos momentan, sondern mit längerer Nachwirkung, was wir schon aus der für Demonstrationen beachtenswerten Thatsache erkennen, dass erst nach einigem Verweilen im absolut verdunkelten Raum die Retina ihr feinstes Unterscheidungsvermögen für Fluorescenzerscheinungen gewinnt. Schon das Fluorescenzlicht der Röhrenwand und die davon ausgehenden Reflexe genügen, die Beobachtung am Schirm zu stören; darum wird die Röhre zweckmässig mit schwarzem Tuch verhängt. Es ist erstaunlich, welchen Unterschied diese einfache Vorkehrung in der Feinheit der Beobachtung ausmacht.

Ist eine elektrische, womöglich regulierbare Beleuchtung vorhanden, so setzt man am besten eine inaktinische rote Lampe ein, deren gelegentliche Benutzung zur Orientirung im Dunkelraum die Fluorescenzempfindlichkeit kaum herabsetzt.

3) Anordnung der Apparate.

Ist der Raum beschränkt, so empfiehlt sich Anordnung der Apparate in Tableauform an wohlüberlegtem Platz, etwa mitten an

einer Längswand. Bei grösseren Verhältnissen kann die Anordnung auf verschiebbarem Tische von Wert sein. Die verschiedenen Handgriffe zur Erfüllung und Regulierung der Apparate müssen ohne unbequemen Ortswechsel in möglichster Nähe vom Beobachtungsposten ausführbar sein.

Ein einfacher hölzerner Untersuchungstisch, ev. mit aufklappbarem Kopfteil, ein mindestens in seinen Klammerteilen, womöglich ganz aus Holz hergestelltes, verschiebbares Röhrenstativ bilden notwendige Hilfsapparate. Kommt eine Tapezierung des Röntgenlaboratoriums, ein Anstrich seiner Wände in Frage, so wähle man eine dunkle, matte Farbe, um Reflexe auch von der Röhre her zu vermeiden.

2. Das Durchleuchtungsverfahren.

Zum guten Gelingen von Durchleuchtungen bilden ausser der Möglichkeit völliger Raumverdunkelung neben tadellosem Instrumentarium ein gut fluorescierender Schirm und gute Röhren wesentliche Bedingungen.

4) Leuchtschirm.

Zu ersterem muss bei festem Rahmen ein hervorragendes Material von Bariumplatincyanür in feinster Körnung verwendet sein; die Leuchtfläche bedarf des Schutzes einer Celluloidscheibe, die zugleich zum Aufzeichnen von Befunden dienen kann. Die Grösse 30 : 40 cm ist für Zwecke der Brustdurchleuchtung wünschenswert; ein kleinerer Hilfsschirm von etwa 18 : 24 cm kann für manche schwerer zugängliche Teile, wie die Halsgegend, die Beobachtung erleichtern. Von der Güte des Leuchtschirmes hängt für die Beobachtung sehr viel ab.

Es empfiehlt sich, den Schirm im Dunkeln aufzubewahren, da belichtete Schirme nachleuchten und so durch ihr Eigenlicht das entworfene Röntgenbild stören. Bei langwierigen, subtilen Untersuchungen empfiehlt es sich, einen Schirmwechsel vorzunehmen oder zeitweilig die Bestrahlung auszusetzen, da der stark bestrahlte Schirm, wie man sich im Dunkelraum leicht überzeugen kann, im Ganzen nachleuchtet, also durch seine Allgemeinfluorescenz die Schattendetails verschwimmen macht.

5) Röhre.

Von der Röntgenröhre müssen wir für Durchleuchtungszwecke fordern, dass sie ein kontrastreiches, intensiv sich abhebendes Schattenbild giebt, dass sie in gewissen Grenzen in ihrem Härtegrad

während der Durchleuchtung regulierbar ist und auf dem gewählten Härtegrad bei angemessener Beanspruchung sich längere Zeit ruhig hält. Ausserdem soll sie leicht regenerierbar sein, wenn sie unter dauerndem Leuchten hart geworden ist. Wir werden nicht bedeutenden Spielraum von weich zu hart von einer Röhre bei einer Durchleuchtung verlangen; dafür ist es besser, im Bedarfsfalle je eine weichere oder eine harte Röhre einzustellen; aber die Brustdurchleuchtung z. B. erfordert zu ergiebiger diagnostischer Verwertung eine bestimmte momentane Regulierfähigkeit der Röhre, da wir es hier mit verschiedenen Geweben von sehr verschiedener Durchgängigkeit zu thun haben, deren beliebige Prüfung erst den richtigen Einblick in normale und pathologische Verhältnisse gewährt.

6) Deutung der Schatten-Bilder.

Wollen wir das Röntgenbild, das wir durch Einstellen des Objektes zwischen Lampe und Leuchtschirm erhalten, richtig deuten, so müssen wir uns klar machen, dass wir es mit einem Schattenbild zu thun bekommen, das geliefert wird von einer Lichtquelle mit divergenten Lichtstrahlen. Die Tiefe der Schatten ist einerseits abhängig von der Qualität der Röhren, andererseits von der spezifischen Dichte des durchleuchteten Objektes und von seiner Dicke; je dichter und je dicker das Objekt, um so tiefer ist der Schatten auf dem Schirm bei gleichbleibender Röhrenqualität. Die Grösse des Schattens ist abhängig von der Projektionsgrösse des Einzelobjektes und von der Entfernung desselben von der Antikathode und dem Schirm. Ersteres ist selbstverständlich, letzteres geht aus dem Charakter der Schattenbilder als Produkten divergierender Strahlen hervor. Für sie gilt das bekannte Gesetz: die Vergrösserung der Schatten ist direkt proportional der Entfernung des Objektes von der Projektionsfläche und umgekehrt proportional der Entfernung des Objektes von der Lichtquelle.

Mit anderen Worten heisst das, gleichbleibenden Abstand von Antikathode und Schirm vorausgesetzt: 1) je näher das Objekt dem Leuchtschirm, desto geringer ist die Schattenvergrösserung, je ferner, desto beträchtlicher ist dieselbe, und 2) je näher das Objekt der Lichtquelle, desto bedeutender ist die Schattenvergrösserung, je ferner, desto geringer.

Daraus ergeben sich für die Schirmuntersuchung einige wichtige Anhaltspunkte. Will man sich überzeugen, ob zwei gleich grosse Schatten auch gleich grossen und gleich fernliegenden Objekten entsprechen, so genügt ein Anrücken der Lampe in der Richtungslinie:

vergrössern sich die Schatten gleichmässig, so ist die Frage zu bejahen; vergrössert sich der eine mehr als der andere, so ist der erstere der Röhre näher gelegen und objektiv kleiner als der andere.

Wir stehen also bei Betrachtung der Röntgenbilder auf Schirm und Photographie vor einem andern Gesetz der Perspektive als beim gewöhnlichen Schauen im diffusen Tageslicht: es lautet hier: gleich grosse Gegenstände stellen sich um so grösser dar, je ferner sie von der Bildfläche, je näher sie der Lichtquelle sind.*)

Hält man z. B. beide Hände zwischen Röhre und Schirm, die rechte in Lampennähe, die linke in Schirmnähe, so erscheint der Schatten der rechten Hand gegenüber dem der linken stark vergrössert, aber auch matter, ärmer an Details, verschwommener.

Halten wir eine Hand im festen Abstand von 5 cm an die Rückseite des Schirmes und rücken mit beiden zuerst nahe, dann ferner der Röhre, so erkennen wir, dass zwar mit der Entfernung von der Röhre die Deutlichkeit des Bildes abnimmt, dass aber auch in einer gewissen Entfernung des Objektes von der Antikathode, in 40—50 cm Abstand, die Schattenvergrösserung viel geringer ist, das Bild der wahren Objektgrösse näher kommt. Die Bestimmung der letzteren lehrt der Abschnitt über Orthodiagraphie.

7) Prophylaxe der Röntgenverbrennung.

Wir müssen uns aber auch aus Gründen der Prophylaxe mit unseren lebenden Objekten etwas von der Röhre fernhalten. Ist dieselbe sehr weich, kontrastreich, so liefert sie überaus wirksame Strahlen, die bekanntlich beträchtliche entzündliche Reizungen der Haut hervorrufen können, und zwar um so leichter, je näher und je länger das Objekt der Bestrahlung ausgesetzt ist. Haben wir eine sehr harte, kontrastarme Lampe vor uns, so sind Büschelentladungen und intensive Funkenschläge von derselben bei zu grosser Nähe zu fürchten. Wer viel mit Durchleuchtungen zu thun hat, schütze seine am meisten gefährdeten Hände durch dicke Lederhandschuhe und benutze die eigene Hand nicht ständig zum Prüfen des Härtegrades der eben gebrauchten Röhre. Von Vorteil sind metallene Schutzgriffe am Röntgenschirm.

8) Einstellung der Röhre u. des Objektes. Durchleuchtungsergebnisse.

Zur Erzielung guter Durchleuchtungsbilder ist es nötig, den für die Untersuchung bestimmten Körperteil in die zur Beobachtung bequemste Stellung zu bringen und die Röhre so einzustellen, dass die centralen Strahlenbündel auf den wesentlichen Punkt gerichtet sind. So untersucht man Kopf, Brust und obere Extremität mög-

*) Vergl. auch Teil I das über die Röhren gesagte.

lichst im Stehen, ev. Sitzen des Kranken, die untere Extremität im Sitzen oder Liegen.

Bei einfacher Durchleuchtung mit guter, mittelweicher Röhre sehen wir am Kopf in Seitenstellung die Stirnbeinhöhle, Orbita, Nasenbein, Oberkieferhöhle, Zähne und Zahnwurzeln mit Füllungen und Stiftzähnen, Unterkiefer mit etwaigen Veränderungen und Kiefergelenk — die Teile der abgewandten Seite verschwommen und vergrössert über die deutlicheren Schattenbilder der zugewandten hinprojiziert, so dass die Deutung einzelner Schattenzüge nicht ganz leicht ist. Durch Bewegungen ist da indessen oft Klarheit über die Zugehörigkeit zu gewinnen. Fremdkörper, wie Kugeln, sind im Schädel, in der Orbita, vor den deutlich mit ihrem Querfortsatze erkennbaren Halswirbeln, oft schon im Schirmbild zu erkennen; zur Lokalisation derselben ist die Markierung ihrer Projektion in zwei zu einander senkrechten Ebenen erforderlich. Bei weichen Lampen erkennen wir in seitlicher Durchleuchtung Zungenbein und Schildknorpel, zumal bei älteren Leuten. Bei der Brustdurchleuchtung ist, um ein richtiges Bild der vorliegenden Verhältnisse zu bekommen, ein Ableuchten des Thorax durch allmähliche Verschiebung der Röhre von oben nach unten nötig, dazu eine richtige Einstellung des Kranken vor der Lichtquelle, um beide Hälften gleichmässig durchleuchtet zu haben. Nur so ist ein bündiges Urteil über Weichteilsveränderungen zu gewinnen, um die es sich hier ja im Allgemeinen handelt.*)

Die Klavikeln, die Rippen und ihre Hebung auf beiden Brustseiten, die Aufhellung der Intercostalräume bei der Inspiration, der Stand beider Zwerchfellhälften und ihre Bewegung, Lage und Grösse der Aorta und des Herzens, dessen Aktion, von den weiterhin genauer besprochenen Veränderungen, Tumoren im Mediastinalraum, Aneurysmen, retrosternale Struma, der Grad der Verkalkung der Rippenknorpel, des Brustbeines, Lungenherde, Fremdkörper im Brustraum, Exsudate und Schwartenbildungen der Pleura etc. liegen unserer Einsicht offen, wenn wir den Härtegrad der Röhre richtig für jede Gewebsart einzustellen vermögen. Die Brustwirbel können wir uns wegen ihrer sonstigen Ueberdeckung mit Herz, Aorta und Brustbein nur in schräger Durchleuchtung von links hinten nach rechts vorn leidlich zur Anschauung bringen. Bei Durchleuchtung von vorn nach hinten übersehen wir noch

*) Siehe Kapitel II, Blendenverfahren.

die Konturen der Schulterblätter und häufig einen dem rechten unteren Stammbronchus entsprechenden Längsschatten von Fingerdicke.

Durchleuchtungen des Thorax erfordern Zeit; da gilt es die Röhren nicht zu überanstrengen, die Antikathode höchstens leicht und vorübergehend zur Dunkelglut kommen zu lassen, weil andernfalls der Gewinn an Bilddeutlichkeit auf Kosten der dauernden Leistungsfähigkeit der Röhre geht.

Schultergelenk, Humerus, Ellbogengelenk, kurz die ganze obere Extremität bildet ein dankbares, wenig Schwierigkeiten bietendes Objekt unter normalen wie pathologischen Verhältnissen; desgleichen die untere Extremität bis hinauf übers Knie; am Hüftgelenk, selbst von Kindern, kommen wir bis jetzt nur mit dem photographischen Verfahren, und zwar in ausreichender Weise mittels des Blendenverfahrens, zurecht.

Vermag uns die einfache Durchleuchtung am Rumpf von Kindern mit Leichtigkeit eine verschluckte Münze im Magen nachzuweisen, die wir beim Gegenklopfen gegen den Magenfundus wohl aufhüpfen sehen, gilt das für eine verschluckte Bismutkapsel selbst für magere Erwachsene, so ist bis auf den gaserfüllten Magen und die entsprechende Partie des Colons unter dem linken Zwerchfell, die aufgebläht als helle Teile unterhalb der sich scharf markierenden Zwerchfellkuppe erscheinen, vom Rumpf recht wenig an Detail der Durchleuchtung zugänglich, wohl noch bei mageren Individuen die Darmbeinschaufeln. Die in verschiedener Dichte hintereinander liegenden ungleichartigen Organe absorbieren zu viel der Röntgenstrahlen, um ein gutes Röntgenbild zu ermöglichen. Welche bedeutenden Fortschritte die Anwendung geeigneter Blenden, zumal für das Gebiet der inneren Medizin, ergeben hat, werden die speziellen Kapitel darüber darthun.

9) Durchleuchtung gegen Photographie.

Als entschiedener Vorzug der Durchleuchtung vor der Röntgenphotographie, besonders für interne Diagnostik, ergiebt sich dem Kundigen die Möglichkeit, durch eine systematische Aneinanderreihung verschiedener Bilder bald in dieser, bald in jener Stellung und Phase sich einen immer wieder überraschenden Einblick in die normale und pathologische Thätigkeit, zumal der Brustorgane, zu verschaffen, wie sie sonst nur das physiologische Experiment vergleichsweise zu liefern vermag. Das plastische Vorstellungsvermögen für physiologische und klinische Befunde wächst dem

Röntgenuntersucher in früher ungeahntem Masse, wenn er sich gewöhnt, das aus den bisherigen physikalischen Methoden gewonnene Bild an den Ergebnissen der Röntgendurchleuchtung zu korrigieren, zu sichern, zu beleben.

3. Das Aufnahmeverfahren.

Zu den subjektiven, vergänglichen Eindrücken der Durchleuchtung gesellt sich als wertvolle Ergänzung die objektive photographische Wiedergabe des Röntgenbildes. Hat unser Auge bei der Durchleuchtung den Vorzug, dem Wechsel in der Thätigkeit und Stellung der Organe zu folgen, dem Lebensvorgang nachzuspüren, so legt die feinkörnige Emulsion der photographischen Platte dafür das starre Bild des Objektes in einer Summe von Details fest, die wir von dem grobkörnigen Fluoreszensschirm nicht ablesen können.

1) Wahl der Röhren.

Wir brauchen zur Gewinnung detailreicher Bilder weichere Lampen, als zur Durchleuchtung des gleichen Objektes. Die Silberemulsion ist empfindlicher als der Fluoreszenzschirm, und die Durchdringungsfähigkeit der von harten Röhren ausgehenden Strahlen nimmt der Platte die nötigen Kontraste, ruft auf ihr die leidigen grauen Schleier hervor, wie sie bei gewöhnlicher Photographie nur auftreten, wenn Licht über die Platte gekommen ist oder bei mattem, trübem Licht eine ganz besondere Ueberexposition stattgefunden hat, oder bei grellem Licht eine solche, dass bereits ein Umschlag der Platte eintrat.

Eine weiche, lichtstarke Röhre liefert bei richtiger Belichtungszeit gute kontrastreiche Bilder: je dünner das Objekt, um so weicher wird die Lampe sein. Wird unterexponiert, so fehlen die Details der Knochenzeichnung, wird überexponiert, so gehen sie in der dicht gedeckten Platte verloren.

2) Sicherung des photographischen Materials.

Bei der weitreichenden Durchdringungsfähigkeit der Röntgenstrahlen, die durch Wände und Zimmer sich geltend macht, wie sich schon mit dem Fluoreszenzschirm nachweisen lässt, müssen die Platten und Negativpapiere entweder recht entfernt vom Röntgenraum oder in einer mit dicken Bleiplatten ausgekleideten Kiste verwahrt werden, in der sie sofort nach der Exposition wieder gesichert werden müssen, sollen sie nicht beim Fortgang der Durchleuchtung unbrauchbar werden. Dem gleichen Umstand verdanken wir andererseits die Möglichkeit, bei den Aufnahmen ohne völligen Lichtaus-

schluss vorzugehen, sofern die Platten im Dunkelraum mit der Schicht nach oben in geeignete, lichtdichte Kassetten eingelegt oder in lichtdichtes, schwarzes, säurefreies Papier, nach oben glatt, verpackt sind. Wo kein starker Druck des Objektes zu erwarten ist, genügt letzteres, andernfalls sind zur Sicherung des Glases Kassetten zu wählen. Werden Films genommen, so können mehrere Blatt übereinandergelegt werden zur gleichzeitigen und nahezu gleichwertigen Gewinnung mehrerer Negative einer Aufnahme.

3) Anordnung u. Hilfsmittel bei der Aufnahme.

Die Anordnung bei der Aufnahme ist stets die: Lampe, dann event. Blende, Objekt, verpackte Platte oder Film mit Schicht nach oben, das Objekt möglichst nahe der Platte. Der Abstand der Antikathode von der Platte richtet sich nach der Dicke des Objektes, er beträgt, wegen der sonst auftretenden Verzerrungen, für Hand und Fuss, mindestens 35—40 cm und steigt bei Brust und Becken auf 40—50; er ist bei Aufnahmen, die Messungen dienen sollen, exakt zu bestimmen, da sonst die Vergleichungsmöglichkeit fehlt, da er ausserdem auf die Expositionsdauer von Einfluss ist. Ueber eine reiche Menge von Hilfsapparaten für die Aufnahmen geben die Kataloge der Firmen Aufschluss. Nötig ist nur der auch für Durchleuchtung erwünschte Untersuchungstisch, ein kleiner Aufwartetisch für Hand- und Armaufnahmen, mit Aufbau von Büchern der Grösse angepasst, oder bequem als verstellbares Stativtischchen eingerichtet; für Aufnahmen am Unterschenkel und Fuss ist ein schmales Längsbrett mit senkrecht angefügtem Fussstück von Nutzen. Geleimte Watte dient zur Unterlegung der Gliedmassen, einige Sandsäcke, Mullbinden dienen zur Fixierung derselben gegen Unterlage und Platte, die für scharfe Aufnahmen, selbst bei kurzer Expositionszeit, unerlässlich ist. Der Bedeutung des Blendenverfahrens bei der Röntgenphotographie ist im speziellen Teil Rechnung getragen.

Die Expositionszeiten schwanken von Sekunden bis zu wenigen Minuten; sie sind abhängig von der Dicke und Dichte des Objektes, von der Lichtstärke und dem Härtegrad der Lampe, der Unterbrechungsart (Wehnelt-Unterbrecher erlaubt kürzeste Exposition), der Absorptionsfähigkeit des Objektes (wenig aussichtsvoll sind Rumpf- und Beckenaufnahmen sehr korpulenter Leute), der Empfindlichkeit der Platten, die durch Verstärkungsschirme auf Kosten der Feinheit des Details gesteigert werden kann.

Was uns die Durchleuchtung auf dem Schirm im Schattenbild

zeigt, das giebt in reichlich verfeinerten Details die photographische Aufnahme wieder: Knochenzeichnung wie auf dünnen Schnittpräparaten, Markierung von Fremdkörpern in schärfster Form, Sesambeinchen, retinierte Zahnkeime (besonders bei Verwendung kleiner, eingepackter Filmsplättchen, die zwischen Zähnen und Zunge plaziert werden), Halswirbel und Lendenwirbel mit allen Details, am Schädel die Haupthöhlen, der knöcherne Gehörkanal, am Thorax Clavikeln, Schulterblätter, wie Herz, Aorta und Stammbronchien, all' das giebt uns die photographische Aufnahme wieder; Kreuzbein und Hüftgelenke, Becken, Einzelheiten von Schulter, Ellbogen und Kniegelenk lassen sich in normalen und pathologisch bedingten Verhältnissen fixieren.

4) Chemische Hilfsmethoden.

Die chemischen Hilfsmethoden unterscheiden sich nicht von denen der Photographie im allgemeinen, die Erfordernisse des photographischen Entwicklungsraumes gelten auch für unsern Zweck; der Aufwand an Zeit für diese rein technische Seite des Verfahrens legt dem Arzt nur nahe, dem Techniker zu lassen, was des Technikers ist und von ihm besser besorgt wird. Gewiss ist es erforderlich, sich soweit einzuarbeiten, um in wichtigen Fällen sofort eine Platte richtig selbst entwickeln und die Beurteilung des Negativs übernehmen zu können, das ungleich mehr lehrt, als die beste Kopie. Unbedingt verlange ich vom Arzt, der Röntgenaufnahmen macht, dass er jedes Negativ ansieht, ehe es zum Kopieren kommt, aber ich möchte dem beschäftigten Praktiker auch ebenso unbedingt raten, nachdem er mit der Aufnahme seine Aufgabe erfüllt hat, die nur er richtig zu lösen vermag, den technischen Teil einem verlässlichen Photographen zu überlassen. Er spart sich so viel Zeit und — viel Geld. Freilich, ein Postulat ist dem Fachmann dann zu stellen und unbedingt aufzuerlegen: Retouche an Röntgenplatten und Bildern giebt es nicht — das wäre für uns eine Urkundenfälschung!

Zu dem überaus wichtigen Studium der Negative empfiehlt sich die Anschaffung eines der viel empfohlenen Lichtkästen für Negative, wenn nicht eine Mattscheibe als Einsatz in eine Thür oder einen Fensterrahmen des Dunkelzimmers einen solchen entbehrlich macht.

2. Kapitel.

Ueber das Blendenverfahren.

Von

Dr. B. Wiesner, Aschaffenburg.

1) Voraussetzungen für gute Radiogramme unter normalen Verhältnissen.

Das gute Gelingen einer Röntgenaufnahme hängt, ein brauchbares Instrumentarium vorausgesetzt, der Hauptsache nach von der für den jeweiligen Fall richtigen Wahl der Röhre einerseits, der richtigen Dauer der Expositionszeit andererseits ab. Die Expositionsdauer hängt ihrerseits wieder bis zum bestimmten Grade von der angewandten Stromstärke ab.

Für die Wahl der Röhre gilt bekanntlich der Grundsatz: je weniger dicht, oder besser, je geringer das Atomgewicht und je kleiner die Masse des zu durchdringenden Körperteils ist, desto weicher ist die Röhre zu wählen; je höher das Atomgewicht und je grösser die Körpermasse, desto relativ härter muss die Röhre sein. Im Grossen und Ganzen ist es ratsam, unter Zugrundelegung dieser allgemeinen Sätze, am eignen Apparate durch Versuche eine exaktere Bestimmung der jeweilig notwendigen Expositionsdauer einmal zu ermitteln, um sich vor Fehlaufnahmen zu sichern.

Handelt es sich bei der Aufnahme von Radiogrammen um die Extremitäten oder um den Rumpf eines magern Individuums, dann wird man ohne weiteres unter Beobachtung genannter Regeln mit einem guten Instrumentarium immer gute Resultate erzielen.

2) Aufnahme schwieriger Objekte.

Anders ist die Sache jedoch, wenn bei der Aufnahme grössere Körpermassen zu durchdringen sind und wenn man noch feinere Details herausbekommen will, so bei Schulter- und Hüftgelenk-, bei

Wirbelsäule- und Beckenaufnahmen stärkerer Individuen und bei Stein-Aufnahmen. Hier gelingen gute Bilder, die auch noch Strukturzeichnung, die eine Differenzierung von Konkrementen erkennen lassen sollen, nicht so leicht, wenn man sich nicht eines Hilfsapparates bedient. In diesen schwierigen Fällen macht sich eine Eigentümlichkeit der X-Strahlen besonders unangenehm geltend, nämlich die Bildung von Sekundärstrahlen.

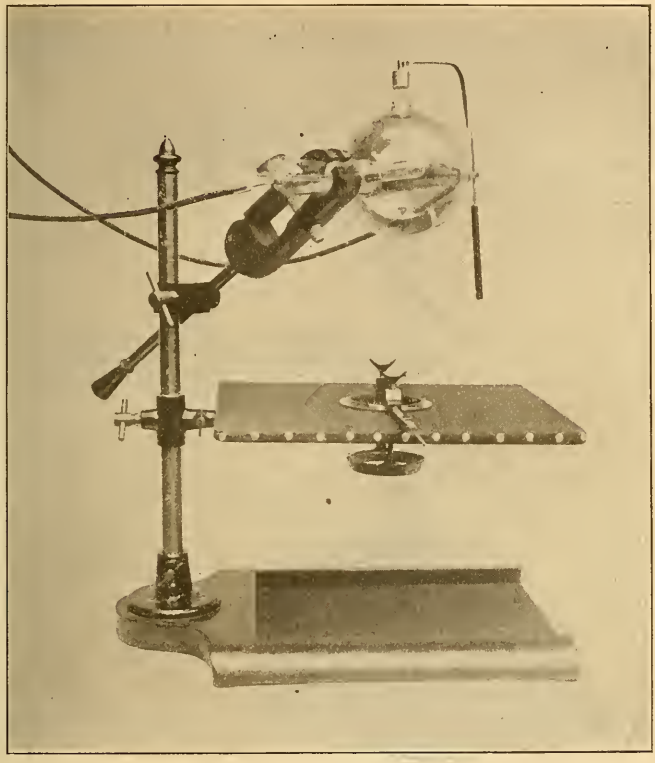
3) Ursache der Schwierigkeit: Die Sekundärstrahlen.

Die X-Strahlen, die wir wahrscheinlich als entladene, aus der Röhre geschleuderte Jonen aufzufassen haben, erzeugen auf ihrem Wege eine sekundäre diffuse Strahlenbildung, die mit dem Wachsen der Potentialdifferenz der beiden Röhrenelectroden, mit anderen Worten, mit der zunehmenden Härte der Röhre zunimmt. Diese sekundäre Strahlenbildung kommt also sowohl an der Röhrenwand als in der Luft und ganz besonders in dem Körper des aufzunehmenden Individuums zustande. Am schädlichsten ist die Sekundärstrahlenbildung im Körper selbst. Es ist daher leicht einzusehen, dass das zumal bei stärkerer Divergenz der primären X-Strahlen in grösserer Körpermasse entstehende Durcheinander sekundärer Strahlen die Wirkung der primären X-Strahlen nicht unwesentlich beeinflussen muss, und dass dann bei solchen Aufnahmen, welche ausserdem die Wahl härterer Röhren, die an und für sich kontrastärmere Radiogramme ergeben, erfordern, flaue und unklare Bilder zustande kommen.

4) Versuche zur Beseitigung der S-Strahlen-Bildung.

Um diese unangenehme Wirkung der Sekundärstrahlen möglichst zu beschränken, hat man verschiedene Vorrichtungen angewandt. So hat man bei Aufnahme der Lendenwirbelsäule durch eine Kompression mittels aufgebundener kästchenähnlicher Vorrichtungen (Boas) die Dicke der zu durchdringenden Körpermasse und damit die Sekundärstrahlenbildung im Körper zu vermindern gesucht. Comasy Llaberia sucht bei Steinaufnahmen durch eine um Operationstisch und Leib des Patienten komprimierend herumgebundene Binde eine Reduktion des Sagittal-Durchmessers zu erreichen. Andere (Levy) haben durch Ueberdeckung des Rumpfes mit einer sogenannten Bleikiste, die einen Ausschnitt für den Durchgang der X-Strahlen hatte, die Luftstrahlen beseitigt und nur eine beschränkte Menge von X-Strahlen einfallen lassen, und dadurch die Sekundärstrahlenbildung im Körper reduziert. Diese Vorrichtungen gingen ja alle von dem richtigen Prinzip aus, dass nämlich gerade die diffuse Reflexion im Körper schädlich wirke, aber sie waren nur

unvollkommene, mangelhafte und in ihrer Wirkung unzureichende Behelfe, die noch dazu für die verschiedenen Fälle nicht genügend anpassungsfähig waren, resp. eine für den einzelnen Fall lokalisierbare Verwendung nicht zuliessen.



Figur 1.

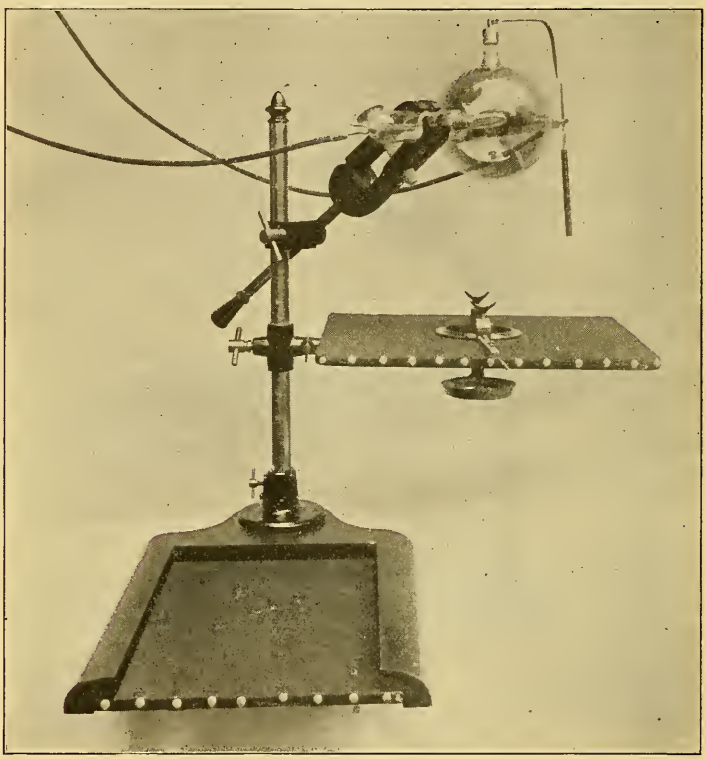
Eine weitere Vorrichtung zur Aufnahme schwieriger Objekte, speziell zu Steinaufnahmen, hat Albers-Schönberg angegeben unter dem Namen „Kompressionsblende".*)

5) Grundlagen des Blenden-Verfahrens.

Bei der Konstruktion einer Blende muss man vorwiegend von folgenden Gesichtspunkten ausgehen: Herausfangen des zur Aufnahme

*) Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen 1902.

notwendigen Strahlenkegels, und zwar genügend weit entfernt von der Lichtquelle, damit vorwiegend die nahezu senkrechten und nahezu unter sich parallelen Strahlen zur Wirkung gebracht werden; Abblendung der übrigen X-Strahlen und Luftstrahlen,



Figur 2.

und wenn möglich, Verminderung der zu durchdringenden Körpermasse. Die Elimination der Glasstrahlen hat praktisch keine Bedeutung, wie schon früher an anderer Stelle erwähnt und vor kurzem von Walter*) zugegeben wurde. Diesen Forderungen wird

*) Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen 1903, Heft 3.

man gerecht, wenn man folgende einfache Anordnung trifft, die ein Resultat zahlreicher Versuche ist und sich nunmehr vielfach in der Praxis bewährt hat:*) (Fig. 1 u. 2.)

6) Aufnahme-Blende. Konstruktion

Auf einer Grundplatte, welche mit einem Ausschnitt versehen ist, in welchen eine Kassette oder eine Vorrichtung zur Aufnahme von verschieden grossen Platten in Einzelpackung passt, ist an der einen Seite ein Stativ montiert, an dem eine zweite Platte parallel mit der Grundplatte verschiebbar und fixierbar sich befindet. Diese zweite Platte hat eine für X-Strahlen undurchlässige Bleidecke und in ihrer Mitte einen Kreisausschnitt von circa 10 cm Durchmesser. Unterhalb dieses Ausschnittes ist ein Metallring von gleichem Durchmesser wie der Plattenausschnitt dadurch beweglich angebracht, dass von dem Ring 2 Führungsstifte durch die Platte laufen. Die Fixierung dieses Ringes wird durch eine an der Oberseite der Platte angebrachte Spindel bewerkstelligt. Diese 2. Platte, die eigentliche Blendenvorrichtung, ist ausserdem noch um die Horizontalaxe am Stativ drehbar. Oberhalb der Blendenvorrichtung ist am Stativ eine verstellbare Boas'sche Klammer mit Röhrenhalter angebracht. Das Stativrohr ist für sich wieder am Fusse drehbar, so dass dasselbe gleichzeitig mit Blende und Röhre nach rechts und links gedreht werden kann. Auf diese Weise ist man in der Lage, die Luftstrahlen thunlichst abzuhalten und nur einen so grossen X-Strahlenkegel zur Wirkung zu bringen, wie man ihn zur Erzeugung eines Bildes, das noch gute Orientierung zulässt, nötig hat. Dabei zeigt sich auch leicht durch den Versuch, wenn man die Röhre in einem Abstand von ca. 55 cm von der Bodenplatte eingestellt hat und der Antikathodenspiegel in der Mitte über den Kreisausschnitt der Blendplatte zu stehen kommt, dass bei Annäherung der Blendenplatte an die Bodenplatte, und zwar biszu einer Entfernung, welche dem ungefähren Sagittaldurchmesser eines mässig starken Körpers entspricht, die Divergenz der X-Strahlen so weit abnimmt, dass man beinahe senkrechte und unter sich nahezu parallel verlaufende Strahlen zur Wirkung bekommt. Es ist dies für die Bildschärfe von Belang, denn „es ist ohne weiteres leicht einzusehen, dass die Kontur eines Körpers bei einigem Abstande von der Platte (Projektionsebene) um so weniger scharf wird, je schräger der projizierende Strahl die Platte trifft. Dass dies durch die hier

und Wirkungsweise.

*) Zeitschrift für Electrotherapie IV, 11 u. 12. Wiener klinische Rundschau 1903, No. 7.

obwaltenden Verhältnisse noch bedeutend mehr gilt, wird uns klar, wenn wir überlegen, dass die Gesamtheit der durch den Körper gedrungenen Strahlen das Bild des Körpers latent trägt. Divergieren die Strahlen, so werden diejenigen von ihnen, welche die Ränder des abzubildenden (dichten) Körpers geschnitten oder berührt haben, die also die Projektion der Kontur auf der Platte auszuüben haben, seitlich vom Rande sekundäre Wirkung hervorbringen. Es ist anzunehmen, dass die Strahlen ihren Charakter auch der Sekundärwirkung mitteilen. So wird also durch letztere bei der Divergenz der Rand in erhöhtem Masse verzerrt und „verlaufend" abgebildet, während bei senkrecht verlaufenden Strahlen die Wirkung eben unterhalb des Randes bleibt und die Kontur wesentlich geringer beeinträchtigt."*)

7) Compressionsprinzip.

Der verstellbare Ring an der Blendenplatte dient da, wo es möglich ist, zur ausgiebigen Kompression der darunter liegenden Weichteile. Er ist so konstruiert, dass an seiner Oberfläche eine schädliche Sekundärstrahlenbildung nicht stattfinden kann, und dass durch ihn ein weiterer Teil der noch divergenten, den Blendenausschnitt passierenden Strahlen vor dem Eintritt in den Leib abgehalten wird. Er wirkt also in gewissem Sinne als Strahlenfilter. Sein Eindrücken wird selbst von empfindlichen Personen leicht ertragen. Durch die Kompression mittelst dieses Ringes wird übrigens auch im Bezirk der Kompression der störende Einfluss der Atembewegung wesentlich vermindert.

Die Kompression mittelst eines durch den Blendenausschnitt gesteckten Rohres auszuüben, ist nach diesbezüglich angestellten Versuchen aus physikalischen Gründen zu verwerfen, denn die Annahme, dass die Strahlen, welche auf die innere Blendenwand auftreffen, in der Röhre stecken bleiben und dadurch unschädlich werden, ist unrichtig, wie sich durch einen einfachen Versuch nachweisen lässt. Die Reflexion an der Röhrenwand ist sogar eine ganz deutliche, wie aus den Helligkeitsunterschieden auf dem Fluorescenzschirm hervorgeht, wenn man die Strahlen durch eine Blendenplatte mit abnehmbarem Rohraufsatz durchgehen lässt und das Rohr abwechselnd aufsetzt und wegnimmt.

Der Einfluss der Rohrwandstrahlung ist graduell verschieden gross, je nach Wahl und Anordnung der Rohrlänge, und es hängt dieses von dem Umstand ab, dass die Wandstrahlenmenge nach einem gewissen Gesetze abnimmt, je weiter die Rohrwand-Flächeneinheit

*) Zeitschrift f. Electrotherapie IV No. 11.

von der X-Strahlenquelle entfernt ist. Je kürzer man das Rohr wählt und je weiter es von der Strahlenquelle entfernt angeordnet ist, desto heller wird die fluorescierende Kreisfläche auf dem Schirm und desto schärfer grenzt sie sich ab; je länger das Rohr und je näher der Röntgenröhre, desto unschärfer wird die Begrenzung des leuchtenden Kreisfleckes, dessen Ränder allmählich in die dunkleren Partien übergehen.

Wenn mit der Rohranordnung gute Aufnahmen erzielt werden sollen, dann muss in die obere Rohrapertur ein Diaphragma eingelegt werden. Der Durchmesser dieses müsste immer so gewählt werden, dass es einen Strahlenkegel durchlässt, dessen Austallsdurchmesser der untern Rohrapertur entspricht. So fällt die diffuse Reflexion an der Röhrenwand weg und die X-Strahlen werden nur noch eine unvermeidliche Sekundär-Strahlenbildung im Körper erzeugen.

Eine Gradeeinteilung und Pfeile am Stativ erleichtern, wenn einmal eingestellt, für eine wiederholte Aufnahme das rasche Auffinden der richtigen Stellung von Röhre, Blende und Platte zu einander.

Ueber die Anwendung des Blendenverfahrens ist folgendes zu sagen: 8) Die Aufnahmeblende. Fortsetz. Ihre Anwendung. Allgemeines.

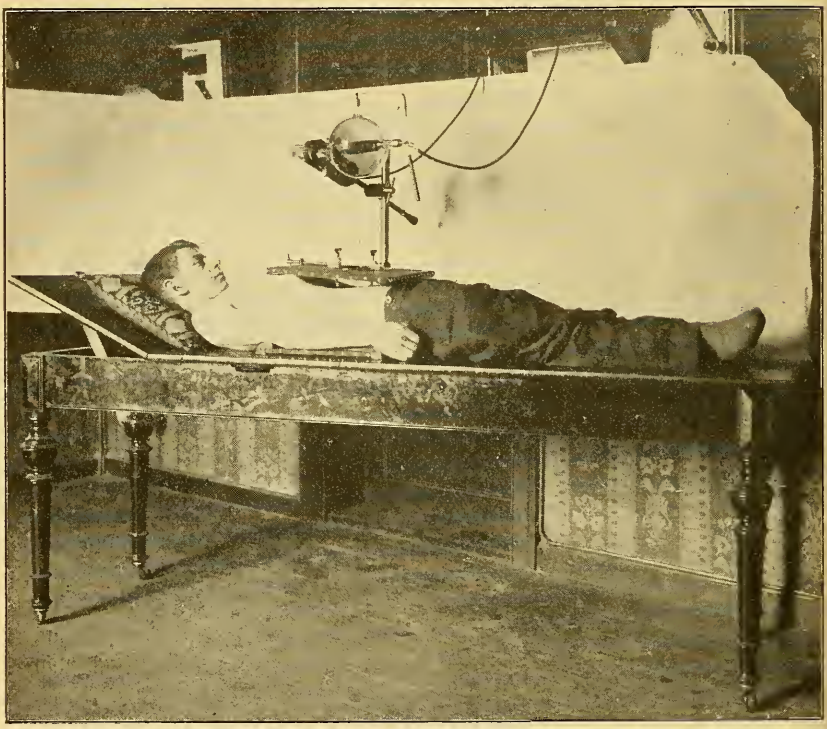
Bevor man an die Lagerung des Patienten geht, stellt man sich Röhre, Blendenplatte und Bodenplatte genau dadurch ein, dass man die Blendenplatte nach dem Pfeil und Strich am Stativ fixiert, die Röhre in die nötige Entfernung (ca. 50 cm) von der Bodenplatte, unter Verdunkelung des Raumes und Auflage eines Fluorescenzschirmes auf die Bodenplatte genau zu Blendenplatte und Fluorescenzschirm zentriert. Man erkennt die richtige Stellung am besten daran, dass bei höherer Stellung der Blendenplatte und herabgeschobenem Kompressionsring der durch diesen erzeugte Schatten genau konzentrisch mit der leuchtenden Kreisfläche sein muss.

Dann dreht man am Stativ Röhre und Blendenplatte zusammen nach aussen, legt den Patienten auf die Bodenplatte, dreht Röhre und Blendenplatte wieder herein und fixiert das Stativrohr. Man lässt nun die Blendenplatte am Stativ herab, so weit, dass sie fast auf dem Körper des Patienten zu liegen kommt; dann fixiert man diese ebenfalls am Stativ. Nun öffnet man die Spindel und presst in all den Fällen, in denen eine Kompression der Weichteile möglich ist, unter langsamem Druck den Kompressionsring in den Leib so weit hinein als möglich und fixiert ihn. Um ein möglichst dichtes

Aufliegen des Körpers auf der Platte zu erreichen, ist es manchmal ratsam, den Patienten eine Steissrücken- oder Steinschnittlage einnehmen zu lassen. Fig. 3.

9) Spezielle Anwendungen. Aufnahmen a) der Wirbelsäule.

Die meisten Schwierigkeiten in der Aufnahme bietet die Brustwirbelsäule, da die Überlagerung durch das Brustbein niemals ein Bild mit all den feinen Details aufkommen lassen wird, wie wir



Figur 3.

es sehr gut von der Lendenwirbelsäule, dem Kreuzbein und der Halswirbelsäule mit der Blende zustande bringen. Immerhin sind die mit Blende gewonnenen Brustwirbelaufnahmen wesentlich besser, als die ohne diese gemachten.

Bei Aufnahme der Lendenwirbelsäule stellt man, je nach gewünschter Höhe, in der Mittellinie ein, thut aber gut, die aufzunehmende Partie vorher mit Blaustift zu bezeichnen, weil man sich dadurch die Einstellung ungemein erleichtert.

Bei Aufnahme der obern Lendenwirbel und der untern Brustwirbel dreht man die Blendenplatte etwas um ihre Horizontalachse, um dann unter kleinem Winkel mit dem Kompressionsring in die Tiefe zu drücken. Es muss dementsprechend natürlich auch die Röhre eingestellt werden. Die dadurch entstehende kleine Verschiebung in der Projektion des Bildes ist kaum störend in der Beurteilung.

Desgleichen geht man, je nach der Höhe der Kreuzbeinpartie oder des Steissbeines mit dem Kompressionsring hinter der Symphyse mehr oder weniger schräg in die Tiefe.

Auch bei der Aufnahme der Halswirbelsäule wird man, um detailreichere Bilder zu erhalten, mit Vorteil die Blende verwenden. Bei der Aufnahme von vorn lässt man den Kopf möglichst nach hinten überneigen; man kommt so mit der Blendenplatte ziemlich nahe an den Hals heran und kann dann noch durch Einlegen eines kleineren Bleidiaphragmas das Gesichtsfeld verkleinern. Manchmal (bei den ersten Halswirbeln) ist es ratsam, eine Aufnahme durch den geöffneten Mund zu machen; man legt dann einfach die Blendenplatte mit dem Kreisausschnitt direkt dem Gesicht auf.

Die Blendenaufnahme der Wirbelsäule dient in erster Linie zum Nachweis von Verletzungen (Luxation, Frakturen), zur Erkennung von tuberkulösen Prozessen und Tumoren und zur Konstatierung von Fremdkörpern (Projektilen).

b) bei Nierensteinen.

Bei der Aufnahme, resp. dem Suchen nach Nierensteinen muss man der Reihe nach die Gegend der beiden letzten Rippen bis herab zur Crista ilei absuchen, und zwar ist es gut, so einzustellen, dass man noch einen Teil des Wirbelkörpers mit in das Gesichtsfeld hineinbekommt. Bei dieser Serie von Aufnahmen sind auch die Ureteren als Sitz von Steinen berücksichtigt. Bei dem je nach Beschaffenheit des Steines oft nicht sehr deutlich ausgesprochenen Schatten des Steines ist es, um auch Flecken, die von Plattenfehlern herrühren, auszuschliessen, ratsam, immer 2 Aufnahmen von derselben Partie zu machen. Im allgemeinen spielt die chemische Zusammensetzung des Steines bezüglich seiner Darstellbarkeit eine geringere Rolle gegenüber seiner Grösse.

c) bei Gallensteinen.

Der Nachweis von Gallensteinen ist bislang ohne Blendenvorrichtung ein sehr unsicherer gewesen, und die durch die chemische Beschaffenheit der Steine einerseits, die respiratorische Verschiebung der Leber bei der Aufnahme andererseits ungünstigen Verhältnisse haben manche Autoren zu der Annahme gebracht, dass es überhaupt

nicht möglich sei, Gallensteine radiographisch darzustellen. Nachdem man jedoch die a priori schwerer darstellbaren Cholestearinsteine beim Unterlegen oder Aufbinden auf den Leib in der Gallenblasengegend bei Anwendung der Blende deutlich zur Darstellung bringen, und nachdem man die respiratorische Verschiebung der Leber durch die Anwendung des Kompressionsringes auf ein Minimum reduzieren konnte, war die Möglichkeit des radiographischen Nachweises von Gallensteinen auch in situ gegeben. Es sind denn auch mittelst des Blendenverfahrens bereits in einer Anzahl von Fällen Gallenstein-Radiogramme gelungen, und man wird bei einiger Uebung wohl immer häufiger positive Resultate erzielen.

Während man früher bei den Versuchen von Gallensteinaufnahmen (Beck), um einigermassen günstige Verhältnisse zu schaffen, die Patienten die sehr unbequeme Bauchlage einnehmen liess, bringt man bei der Blendenaufnahme den Patienten in die weitaus angenehmere Steiss-Rückenlage, sucht den Leib resp. die Lebergegend nach schmerzhaften Stellen ab, bezeichnet dieselben mit Blaukreuz, und wenn die Leber momentan unempfindlich ist, bezeichnet man sich die Gallenblasen- und Choledochusgegend und stellt so die Blende mit Kompressionsring ein. Auf der Platte bekommt man dann in der Regel einen Teil der Lendenwirbelsäule bis herab zum rechten Darmbeinkamm.

Im allgemeinen darf man sicher sein, ein vorhandenes Konkrement nachweisen zu können, wenn die Qualität des Radiogrammes derart ist, dass man eine gute Differenzierung des Musk. Psoas, der Wirbelquerfortsätze und auch Struktur im Wirbel erhalten hat. Die Gallensteinschatten sind auf dem Radiogramm gegenüber den Nierensteinschatten wesentlich schwächer.

d) Blasensteine.

Blasensteine kommen für die Radiographie weniger in Betracht, da wir in Anwendung der Steinsonde und der Cystoskopie exakte und zuverlässige Methoden der Untersuchung für diese Erkrankung besitzen. — Man verfährt bei der Aufnahme von Blasensteinen so, dass man mit dem Kompressionsring dicht hinter der Symphyse schräg nach unten in die Tiefe geht.

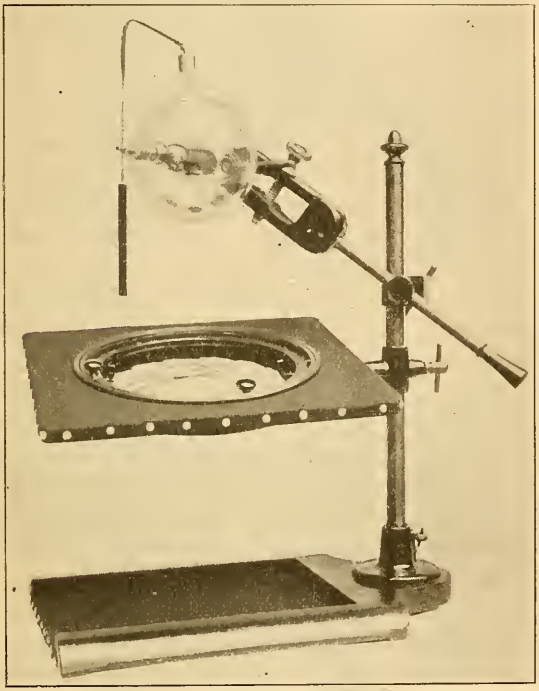
e) Die Aufnahme der Gelenke.

Will man ein schärferes Bild von Hüfte oder Schultergelenk erhalten, oder will man feinere Details am Brustkorb herausbekommen, dann eignet sich hierzu das Blendenverfahren ohne Kompression aus eingangs erwähnten Gründen. Man kann den Kompressionsring entfernen und stellt die Blendenplatte, je nachdem

man einen grösseren oder kleineren Bezirk dieser Gegenden zur Darstellung bringen will, etwas entfernt oder direkt dem Körperteil aufliegend, ein, oder verwendet die in Figur 4 abgebildete Irisblende.

10) Besondere Verhaltungsmasregeln.

Bei all' den Aufnahmen, bei denen man den Kompressionsring anwenden kann, ist auch zu raten, von der durch letzteren ermöglichten Anwendung weicherer Röhren ausgiebig Gebrauch zu



Figur 4.
Aufnahmeblende mit Iriseinsatz.

machen. Man wähle eine mittelweiche Röhre und exponiere bei schwächerem Strom lieber etwas länger (3—6 Minuten), je nach Starkstrom oder Batteriebetrieb. Ist etwas zu kurz exponiert, sodass die Wirbelkörper nicht allzu scharf herauskommen, dann wird man bei Steinaufnahmen mit weicheren Röhren häufig noch einen vorhandenen Stein nachweisen können, da das richtig gewählte Verhältnis zwischen Objekt und Röhre seine Darstellung ermöglicht.

bevor der schwerer zu durchdringende Wirbelkörper klarer herauskommt.*)

Eine ausgiebige Entleerung des Darms vor Aufnahmen im Gebiete des Abdomens ist in allen Fällen ratsam, ganz besonders bei dicken Individuen. Es ist nicht überflüssig, darauf aufmerksam zu machen, dass die Platte gut getrocknet, die Glasseite sorgfältig gereinigt, die Schichtseite auf Fehler und Flecken abgesucht werde, ehe man an das Studium des Radiogramms bei diffusem Licht, am besten im Metzner'schen Demonstrationsapparat, herangeht.

11) Die Durchleuchtungsblende. Ihr Wert.

Ausser dem Blendenverfahren, als wesentliches Hilfsmittel in der Radiographie schwieriger Objekte, speziell chirurgischer Fälle, ist das Blendenverfahren auch in der Radioskopie äusserst wertvoll. Dieselben ungünstigen Verhältnisse, die bei der Radiographie störend einwirken, spielen auch eine grosse Rolle bei der Durchleuchtung, und da eine gute Durchleuchtung in vielen Fällen uns eine Aufnahme ersparen kann, in manchen Fällen sogar den Vorzug vor der Aufnahme hat**), ist es wünschenswert, die Radioskopie möglichst zu vervollkommnen und ihr Anwendungsgebiet, als technisch einfacheres Verfahren, möglichst zu erweitern.

12) Forts. Konstruktion.

Man hat nun zur Verbesserung der Radioskopie eine Reihe von Blendenvorrichtungen konstruiert; fast jedes Institut hat eine nach Angabe seines Röntgenologen gebaute Durchleuchtungsblende. Es ist hier im Rahmen dieses Buches nicht der Platz, dieselben einzeln anzuführen. Viele erfüllen ihren Zweck, manche sind unpraktisch in der Handhabung und nicht für alle Durchleuchtungszwecke geeignet.

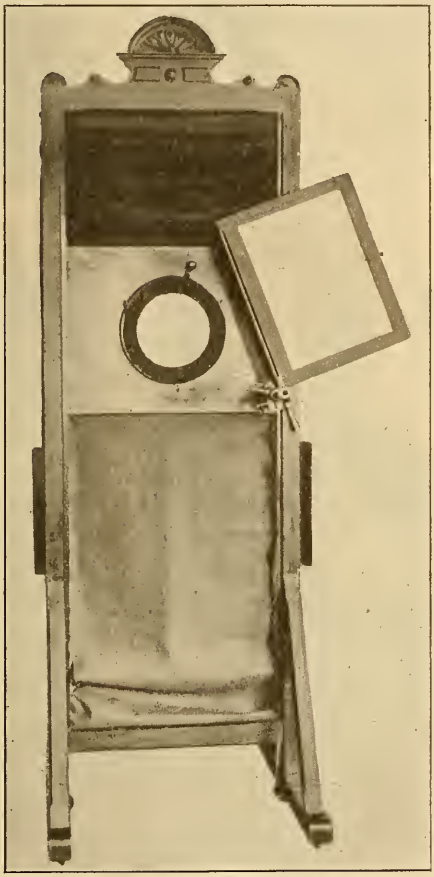
Zweckentsprechend, für alle Fälle genügend und in seiner Konstruktion möglichst einfach ist folgende Vorrichtung:

In einem Rahmen von ca. 2 m Höhe und 80 cm Breite ist eine strahlendichte mit Ausschnitt versehene Platte durch über Rollen laufende Gegengewichte in jeder gewünschten Höhe einstellbar; an der Vorderseite der Platte ist ein Arm mit Halter für die Röhre angebracht. Der Arm, resp. Halter, ist so eingerichtet, dass jede Röhre benutzt werden kann. Desgleichen kann an der Rückseite der Blendenplatte durch eine einfache Vorrichtung der Durch-

*) Bezüglich der Wahl der Röhrenqualität verweise ich auch auf die betreffenden Abschnitte in I. und II., Kap. 1.

**) Siehe III. Teil, Holzknecht: Das Röntgenverfahren in der inneren Medizin.

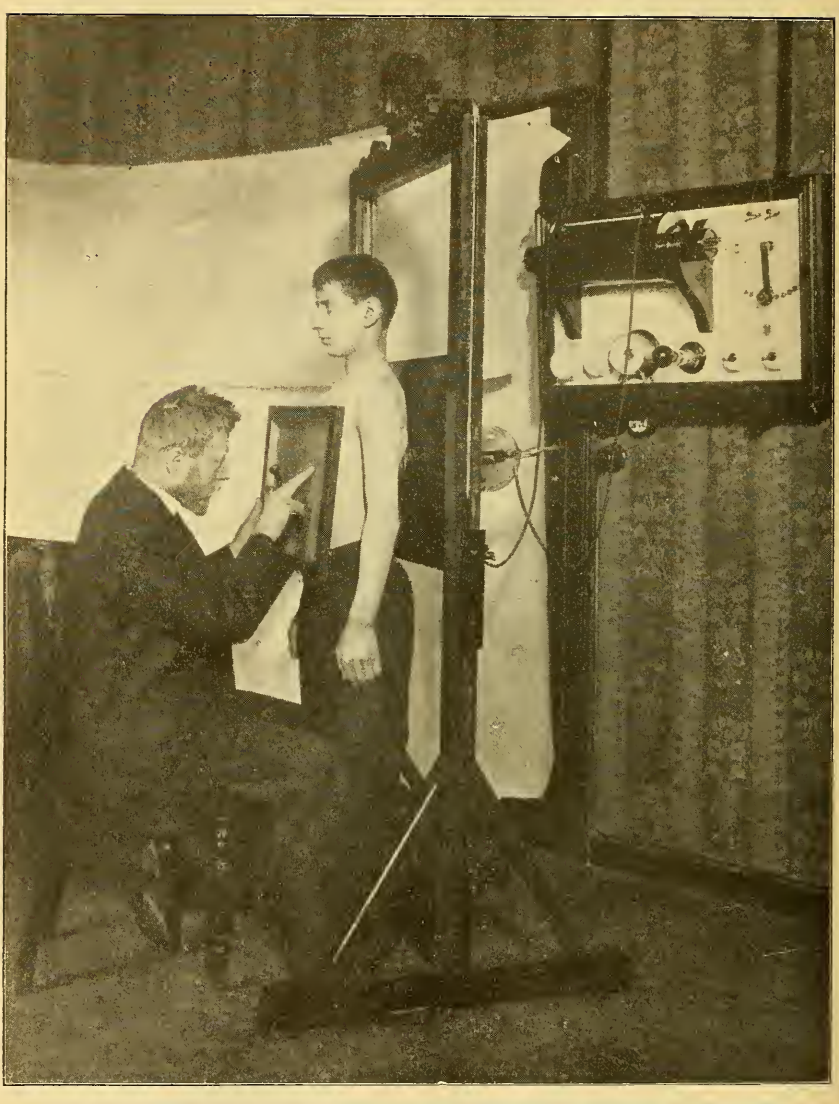
leuchtungsschirm, verstellbar und fixierbar, so angebracht werden, dass Röhre, Blende und Schirm miteinander laufen. Durch die Höhenverschiebung der Blende und die seitliche Verschiebung oder



Figur 5.

eventuelle Schrägstellung des zu Durchleuchtenden ist man in der Lage, eine Blenden-Durchleuchtung nach allen Richtungen hin vorzunehmen. Fig. 5 und 6.

Eine Bleikistenvorrichtung zur Aufnahme der Röhre, die von andrer Seite angegeben wurde, ist völlig entbehrlich. Es genügt



Figur 6.

die schon von Holzknecht angegebene, einfache Zwischenschaltung genügend grosser Bleiplatten mit Diaphragmen zwischen Rohr und Patient, um scharfe Durchleuchtungsbilder zu bekommen. Notwendig dagegen ist durch eine weitere einfache Vorrichtung (Umhüllung der Röhre irgend welcher Art), die übrigen von der Röhre ausgehenden Lichtstrahlen, welche die Verdunklung des Untersuchungsraumes unvollkommen machen und dadurch das beobachtende Auge stören, zu beseitigen.

Statt des einfachen Blendenausschnittes kann auch in die Platte eine Irisblende nach Dr. Bille eingesetzt werden zur bequemeren Verkleinerung und Vergrösserung des Gesichtsfeldes.

An dieser Stelle möchte ich auf den zweifellosen Vorzug der regulierbaren Gundelach-Dessauerschen Röhre bei der Durchleuchtung hinweisen. Man ist bei dieser Röhre in der Lage während der Beobachtung die Qualität der Röhre innerhalb gewisser Grenzen zu regulieren. Wer einmal damit gearbeitet hat, wird dieselbe wegen der für eine gute Radioskopie wichtigen Eigenschaft, einer feinen Qualitätsregulierung der Röhre bei der Beobachtung, zu schätzen wissen.

Bezüglich des Anwendungsgebietes der Blendendurchleuchtung in der inneren Medizin verweise ich auf das Kapitel „Das Röntgenverfahren in der inneren Medizin", von Dr. G. Holzknecht im III. Teil dieses Buches.

Auch für die Chirurgie lässt eine vervollkommnetere Durchleuchtungsmethode wesentliche Erleichterung und Verallgemeinerung des ganzen Verfahrens erhoffen. Durch die Verwendung der in Fig. 5 abgebildeten Durchleuchtungsblende, den Gebrauch einer Röhre von grösseren Dimensionen (einer sogenannten Riesenröhre), und Belastung der letzteren ad maximum bei gleichzeitiger Vorschaltung mehrerer Drosselröhren, um die für die Röhre schädliche Schliessungsinduction möglichst zu eliminieren ist es uns bereits gelungen Durchleuchtungen vom Schultergelenk kräftiger Individuum und vom Hüftgelenk jugendlicher Personen in einer Vollkommenheit zu erzielen, dass gewiss in vielen Fällen in Zukunft eine Aufnahme unnötig werden wird.*)

*) Siehe M. M.-Wochenschrift 1903: „Ueber einen Fortschritt in der Technik der Röntgenbeleuchtung" von Ingenieur Dessauer und Dr. Wiesner.

3. Kapitel.

Ueber Orthodiagraphie.

Von

Prof. Dr. Aug. Hoffmann in Düsseldorf.

1) Prinzip der Orthodiographie.

Da die Röntgenstrahlen sich von ihrem Ausgangspunkt, der Mitte der Antikathode, nach allen Richtungen hin radial ausbreiten, so wird das Schattenbild eines Gegenstandes, welcher dem fluoreszierenden Schirm nicht unmittelbar anliegt, nach den Gesetzen der Optik auf diesem vergrössert erscheinen. Es verhält sich mit dem Schattenbilde in dieser Beziehung genau so, wie mit dem durch eine sonstige Lichtquelle — etwa eine Kerzenflamme — hervorgerufenen Schatten.*) Während nun die Lichtstrahlen bei Verwendung durchscheinender Medien, so durch Glas etc., brechbar sind und durch eine bestimmte Form des brechbaren Mediums parallel gerichtet werden können, ist eine regelmässige Brechung der X-Strahlen durch irgend ein Medium wegen ihrer Wesensverschiedenheit gegenüber den Lichtstrahlen nicht hervorzurufen. Kann man den zu untersuchenden Gegenstand nicht unmittelbar an den Schirm bringen, und will man doch seine wirkliche Grösse aus dem Schattenbild erkennen, so muss ein besonderer Weg der Untersuchung eingeschlagen werden.

Denkt man sich den die Strahlen aussendenden Punkt der Antikathode (oder die Kerzenflamme) mit einem Punkte des Randes

*) S. II. Kap. 1. pag. 68, § 79 u. 80.

des zu untersuchenden Körpers und den Schirm, der den Schatten auffängt, in einer geraden Linie angeordnet, so wird den Rand des Körpers an der betreffenden Stelle ein senkrechtes Strahlenbündel treffen, und an dieser Stelle wird das Schattenbild genau dem wirklichen Rand des schattenwerfenden Körpers, z. B. wenn man sich ihn als eine runde Scheibe vorstellt, entsprechen. Im übrigen aber wird die Scheibe im Schatten nicht rund, sondern nach der entgegengesetzten Richtung hin eiförmig ausgezogen erschienen. Bewegt man die Röhre oder die Scheibe so, dass nun der entgegengesetzte Rand von senkrechten Strahlen getroffen wird, so ist jetzt dieser Rand genau im Schattenbild wiedergegeben, während der erst eingestellte nun die Verzerrung des Schattenbildes zeigt. Hat man den ersten Punkt auf dem Schirm (bei bewegter Röhre) markiert und ebenso den zweiten, so entspricht die Entfernung beider Markierungen genau dem entsprechenden Durchmesser des Objekts, in diesem Fall der Scheibe.

Umgekehrt, hat man die Scheibe etwa 10 oder mehr Centimeter hinter einer dünnen Papp- oder Holzplatte also zwischen Röhre und Schirm durch einen senkrechten Stab befestigt, so kann man, wenn man diese Platte dicht an einen mit der Röhre gleichzeitig beweglichen Schirm legt und nun letzteren mitsamt der Röhre verschiebt, auf der Platte die Grösse der Scheibe aufzeichnen, wenn man jedesmal den Punkt des Schattenrandes, der gerade von senkrechten Strahlen getroffen wird, etwa durch ein kleines Loch im Schirm hindurch auf der Platte markiert. Um nun im Dunkeln stets zu wissen, wann der Schattenrand von senkrecht auffallenden Strahlen getroffen wird, bringt man der Mitte der Strahlen aussendenden Antikathode genau gegenüber und zu dieser unverrückbar einen Markierstift an. Die Lampe und der Stift werden am Ende von Stäben angebracht, die senkrecht von einem sie verbindenden Querstab ausgehen. Sie befinden sich also gewissermassen an den Enden einer zweizinkigen Gabel, zwischen welche man den zu durchleuchtenden Körper nebst dem Leuchtschirm stellt.

Mit diesem System kann man den eben beschriebenen Versuch leicht ausführen, wenn man dasselbe so beweglich macht, dass dabei Röhre und Markierstift einander stets genau gegenübergestellt bleiben.

Die meisten Gegenstände, welche man radioskopisch untersuchen will, können ja dem Leuchtschirm, respektive der photogra-

phischen Platte hinreichend genähert werden, um genaue und zum gewünschten Zweck ausreichende Bilder zu geben. Nur die Organe der Brusthöhle, das Herz und die grossen Gefässe, sowie etwa dort befindliche abnorme Gebilde, Tumoren, Aneurysmen, Fremdkörper, können in ihrer wirklichen Grösse, auf deren Bestimmung es wesentlich bei der Röntgenuntersuchung am Thorax ankommt, aus dem Schattenbilde nicht erkannt werden, da sie in unbekannter Entfernung hinter dem Schirm sich befinden. Für diese Untersuchungen, ganz besonders für die des Herzens, kommt ein nach Analogie des geschilderten Versuches eingerichtetes Verfahren in Frage: die Orthodiagraphie.

Schon gleich bei der Einführung der Röntgenstrahlen in der Medizin, nachdem man erkannt hatte, dass der Herzschatten sich innerhalb des helleren Lungenschattens als dunkles, wohlumgrenztes Bild abhob, wurden Versuche gemacht, aus der Grösse des Schattenbildes die wahre Grösse des Herzens zu bestimmen.

Es ist nun keine Frage, dass bei genügender Entfernung der die Strahlen aussendenden Röhre vom Leuchtschirm und wenn man die zu untersuchende Person dicht an den Schirm bringt die Vergrösserung des Schattens bis zu einer nur geringfügigen Differenz zur wirklichen Grösse gebracht werden kann. Auch würde es, läge das Herz der Brusthaut unmittelbar an, oder wäre die Entfernung des grössten Querschnittes des Herzens von der vorderen Körperoberfläche eine nahezu gleich bleibende, keine Schwierigkeiten machen durch einfache Durchleuchtung und Aufzeichnung des Schattenbildes ein annähernd richtiges Bild der Herzgrösse zu gewinnen. In Wirklichkeit stellt sich diesem Vorgehen zunächst die Unmöglichkeit entgegen, die Röhre weit genug vom Schirm zu entfernen, da mit zunehmender Entfernung die Helligkeit der Fluorescenz nachlässt und die Schattenbilder immer undeutlicher werden. Ausserdem ist die Entfernung des grössten Durchmessers des Herzens von der Oberfläche der Brust eine immerhin beträchtliche und beträgt wohl 7—10 cm. Dabei ist sie bei verschiedenen Personen ungleich gross, sodass bei der üblichen Durchleuchtung der Brustorgane, wobei die Röntgenröhre 40—60 cm hinter dem Schirm sich befindet, eine im Einzelfall verschiedene aber immer beträchtliche Vergrösserung des Herzschattens entstehen muss. Zwar war man schon früher imstande, durch Einhaltung genau derselben Versuchsbedingungen: gleicher Lampenabstand, gleiche Stellung der

Lampe zur Körperoberfläche, bei derselben Person vergleichende Messungen des Herzschattens vorzunehmen, doch konnte dieses nur für bestimmte eng umgrenzte Fragen von Bedeutung sein. So hat sich denn gleich auch das Bestreben geltend gemacht durch besondere Vorrichtungen der eingangs geschilderten Art ein genaues Bild der Herzgrösse bei der Durchleuchtung zu erhalten.

2) Geschichtliches.

Schon in der 1897 erschienenen Monographie von Rosenfeld*) findet sich eine Methode, die diesem Zwecke dient, angegeben. Später haben Levy-Dorn und Boas dieses Ziel zu erreichen gesucht, indem sie die Röhre und andrerseits einen Visierpunkt an einer seitlich den Patienten umfassenden Gabel einander unverrückbar fest gegenüberstellten und nun die zu untersuchende Person zwischen die Arme derselben brachten. Markiert man, indem man die Person so einstellt, dass der Visierpunkt auf die linke Herzgrenze zu liegen kommt, diesen Punkt auf der Oberfläche, bewegt dann die Person soweit nach links, dass nunmehr der rechte Rand des Herzschattens unter dem Visierpunkt liegt und markiert diese Stelle, so hat man nach dem eingangs beschriebenen Versuch ein genaues Mass der Breite des Herzens.

Der nächstdem eingeschlagene Weg führte dahin, dass man die beiden unverrückbar verbundenen Pole: die Röhre und den Visierpunkt resp. einen an dessen Stelle gesetzten Zeichenstift nunmehr als ganzes System beweglich machte, sodass die Röhre allen Bewegungen des Stiftes folgte und damit wurde allmählich der Uebergang zu den jetzt diesem Zweck dienenden Apparaten gefunden. Indem Boas u. Grunmach Röhre und Stift an den Enden einer den Patienten von der Seite her umgreifenden Holzgabel anbrachten und den Stiel dieser Gabel in einem Stativ in horizontaler Richtung verschiebbar machten, waren sie imstande, die Breite des Herzens auf die Körperfläche zu zeichnen, ohne die Person zu bewegen.

Bei dem von mir im Jahre 1897**) konstruierten Apparate, bei welchem der Visierpunkt durch einen senkrecht gestellten Draht dargestellt war und die Röhre von oben herab gehalten wurde, wurde später Stift und Röhre an einer Achse angebracht, welche oberhalb des Patienten in einem Lager drehbar war, sodass Stift und Röhre von rechts nach links eine halbkreisförmige Bewegung

*) Wiesbaden, J. F. Bergmann.

**) Zur Anwendung der Röntgenstrahlen in der inneren Medizin. Deutsch. med. Wochenschr. 1897.

beschreiben konnten. Auf diese Weise war es möglich, rechte und linke Herzgrenzen genau zu bestimmen.

Ein weiterer Fortschritt wurde durch Moritz*) angebahnt, der von der liegenden Stellung des Patienten ausging. Er konstruierte einen Lagerungstisch, auf welchem eine an beiden Seiten in verschiedener Höhe feststellbare, auf- und abwärts bewegliche, barrenartige Lehne sich befindet; dieselbe trägt an ihrem oberen Rande zwei leicht drehbare horizontale Walzen, auf dieser ruht nun auf in senkrechter Richtung zu den Walzen der Lehne laufenden Walzen der eigentliche Zeichenapparat. Derselbe besteht aus einem oben angebrachten Leuchtschirm und einer über der Mitte desselben befindlichen Zeichenfeder, die durch ein in der Mitte des Schirms befindliches Loch bis zur Körperoberfläche des Patienten herabgelassen werden kann. Unterhalb des Tisches befindet sich an dieser Vorrichtung mit ihrer Antikathode genau unterhalb des Zeichenstiftes die Röntgenröhre. Dieselbe folgt, da ihr Träger unverrückbar fest durch seitlich herabführende Träger mit der oben befindlichen Zeichenvorrichtung verbunden ist, allen Bewegungen des Schreibstiftes. Indem man nun die sehr leicht bewegliche Vorrichtung über die Grenzen des Schattenbildes des Herzens hinführt und dabei von Zeit zu Zeit mit dem Schreibstift durch den Schirm hindurch einen Markierpunkt auf die Brusthaut des zu Untersuchemden macht, gelingt es auf der Brustfläche des Patienten die Grenzen des Herzschattens durch punktierte Linien aufzuzeichnen. Dieses Instrument nennt Moritz den „Orthodiagraphen".

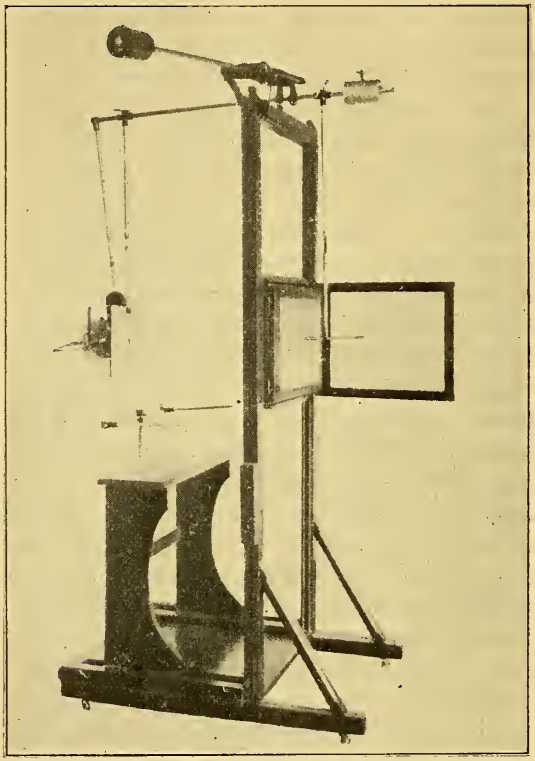
Es sind seitdem eine Reihe weiterer Apparate, die dem gleichen Zweck dienen, konstruirt worden, wobei jeder einzelne Forscher wieder von der ursprünglichen Form seines Untersuchungsapparates ausging. Dem von mir bis dahin benutzten Apparat ging nur die Vertikalbewegung ab, um dasselbe zu leisten, was der Orthodiagraph von Moritz leistet, die Horizontalbewegung besass er bereits. Die Vertikalbewegung wurde zunächst dadurch erreicht, dass der Klotz, welcher das Lager für die die Röhre und den Stift tragende Achse enthielt, dadurch beweglich gemacht wurde, dass er zwischen zwei seitlichen Schienen auf- und abwärts gleitend angebracht wurde, wobei das Gewicht der Vorrichtung durch eine über eine Rolle geleitete Schnur mit einem seitlich herabhängenden Uhr-

*) Münch. Med. Wochenschr. 1902, No. 1.

gewicht ausgeglichen wurde.*) Dieses war der erste für Vertikalaufzeichnungen des Schattenbildes konstruierte Apparat. Verbessert wurde er inzwischen dadurch, dass das Achsenlager statt in der Schienenführung am Ende eines Hebels angebracht wurde, welcher an seinem anderen Ende ein verschiebbares Gewicht trägt, dadurch war ein grösserer Spielraum gewonnen und man konnte ohne Verstellung grosse und kleine Personen nacheinander untersuchen. Dadurch aber, dass der Apparat in Verbindung mit dem von mir ursprünglich angegebenen Untersuchungsgestell für Herzuntersuchungen bleibt, hat er gewisse Vorteile vor den übrigen später für Vertikalaufzeichnungen konstruierten Apparaten voraus. Dieses ursprüngliche Untersuchungsgestell besteht aus 2 senkrechten Pfosten, zwischen denen auf- und abwärts verschieblich ein Rahmen sich befindet. An demselben befinden sich kreuzweis gespannte Drähte, welche in oben und unten angebrachten Schienen gegen einander senkrecht beweglich gemacht sind. An den Schienen befindet sich Centimetereinteilung. Durch verschiedene Stellungen dieser Drähte können die verschiedenen Punkte und Linien der Körperoberfläche, welche bei der Percussion zur Orientierung dienen, markirt werden. Bei der Durchleuchtung erscheinen diese Drähte als schwarze Striche auf dem Schattenbilde. Es hat diese Einrichtung zunächst den Vorteil, dass man, wenn man sich die Entfernung der Drähte, welche die Mittellinie und die Mammillarlinie markieren, aufschreibt, in der Lage ist, im nächsten Fall die Untersuchungsperson genau wieder so zu stellen, wie sie vorher gestanden hat, indem man die Drähte wieder auf dieselben Zahlen einstellt und die Person so stellt, dass die Drähte auf die betr. Linien zu liegen kommen. Dadurch wird dem Verdrehen der Person vorgebeugt welches sonst zur Folge hat, dass die Frontalebene nicht genau dem Schirm parallel steht. Dass letzteres der Fall ist, ist aber bei jeder Untersuchung die erste Vorbedingung; denn steht die Untersuchungsperson nicht genau frontal parallel zum Schirm, so wird auch der aufgezeichnete Herzschatten nicht das Bild des grössten Frontaldurchmessers des Herzens darstellen. Diese Frontalstellung lässt sich aber durch einen neuerdings von mir angegebenen Untersuchungsstuhl noch weiter sichern. Derselbe besteht aus einem ziemlich hochbeinigen Stuhl, dessen kreuzförmige Lehne in ihrem Fusspunkt

*) Angegeben in „Pathol. und Therapie der Herzneurosen", Wiesbaden 1901. Centralblatt für innere Medizin 1902. No. 19.

auf- und abwärts verstellbar ist. Der Querbalken des Kreuzes soll unter den Schultern sich befinden, und zwar in einer Höhe, die es erlaubt, die beiden am Querbalken nach vorn vorspringenden geraden Halter unter den Achseln der zu untersuchenden Person durchzuschieben. Diese Halter sind seitwärts am Querbalken des Kreuzes verschiebbar und können der seitlichen Thoraxfläche genau



angelagert werden. Sitzt die Person auf diesem Stuhl, so kann sie sich weder seitlich, noch nach vorn oder rückwärts bewegen. Nach vorn hin hindert der Untersuchungsrahmen, nach hinten die Lehne, die seitliche Bewegung wird durch die beiden unter den Armen befindlichen Halter verhindert. Die Verbindung der angegebenen Apparate miteinander erlaubt die vollkommenste Art der Orthodiagraphie in aufrechter Stellung, die heute möglich ist. Die Auf-

rechtstellung hat den grossen Vorteil, dass das Herz nicht zurücksinkt und damit auch zugleich keine Achsendrehung vornehmen kann. Ausserdem ist für den Menschen die natürliche Körperstellung die aufrechte. (s. nebenstehende Abbildung).

3) Methode der Orthodiagraphie.

Die Aufzeichnungen mit diesem Apparat sind auf dreierlei Weise möglich. Zunächst befindet sich an demselben seitlich ein ebenfalls nach oben und unten verschiebbarer, auf dem Messrahmen aufklappbarer, befestigter Leuchtschirm, derselbe ist mit einer Glasplatte bedeckt, auf diese kann durch Klammern leicht ein Blatt Pauspapier oder besser, weil ersteres sehr unscharfe Konturen giebt, ein Blatt glashelles Gelatinepapier fest aufgepresst werden. Führt man nun die mit einem mit Stempelfarbe gefüllten Schreibstift armierte Schreibvorrichtung über das vor den Schirm geklemmte Blatt, so folgt die Röhre allen Bewegungen desselben und man kann auf dem Schirm zunächst, entsprechend den eingestellten Drähten, die drei Hauptmarkierungslinien der Thoraxoberfläche aufzeichnen. Dabei markiert man auch die durch eine Kreuzung der senkrechten Drähte mit einem Querdraht angedeuteten Mammillen (die Mittellinie muss man bei manchen Personen mit einem Lineal nachziehen, wobei das oben und unten über den Schirm hinausragende Drahtende mit einander verbunden wird, dieselbe hebt sich oft nicht deutlich ab). Dann umfährt man die Umrisse des Herzschattens mit dem Schreibstift und die Aufnahme ist fertig. Mehrere nacheinander gemachte Aufnahmen von derselben Person zeigten hierbei stets dieselben Bilder.

Nun kann man an dem Halter des Schreibstifts auch einen kleinen Leuchtschirm (13 : 18 cm), der in der Mitte durchlocht ist, so anbringen, dass der federnde Stift genau durch die Oeffnung hindurch vorgeschoben werden kann. Bei dieser Armierung des Apparates kann man zunächst, genau wie bei Moritz, die Konturen des Herzschattens direkt auf die Brust der betreffenden Person oder auf gewöhnliches Schreibpapier aufzeichnen. Letzteres wird dadurch erreicht, dass man eine Holzplatte aus weichem Holz, die ebenfalls wie der grosse Leuchtschirm von der Seite her vermittels eines Charniers auf den Rahmen geklappt werden kann, als Schreibunterlage benutzt. Auf diese wird mit Heftstiften ein Blatt Schreibpapier befestigt. Auf dem kleinen über die Fläche weggeführten Schirm sieht man nun sowohl wie bei der ersten Untersuchung die Drahtschatten, als auch den Herzschatten. Indem man

Stift und Schirm so führt, dass die schwarz erscheinende Mittelöffnung des Schirms den Drähten und Schattenkonturen entlang geführt wird, kann man durch Vorschieben des Stiftes direkt alles auf Schreibpapier aufzeichnen.*)

Eine weitere diesem Zwecke dienende Vorrichtung ist der von Hirschmann (Berlin) konstruierte, dem meinigen in manchen Punkten ähnliche Apparat, welcher ebenfalls an einem Doppelhebel drehbar die Achse mit der Röhre und dem Zeichenstift trägt. Derselbe hat den Nachteil, dass der Patient nahezu ganz frei steht, infolgedessen unvermeidliche Schwankungen desselben bei der Untersuchung das Resultat unsicher machen. Weitere Apparate sind von der Allgemeinen Electricitäts-Gesellschaft mit Verbesserungen von Boas und Grunmach konstruiert. Dieselben erlauben Aufnahmen von Bildern in senkrechter und horizontaler Lage, an letzterem ist auch eine Vorrichtung angebracht, welche eine gleichmässige Stellung des Patienten zum Apparat sichern soll. Auch von Levy-Dorn ist ein „Universalstativ" angegeben, welches ebenfalls orthodiagraphische Aufzeichnungen erlaubt, sowohl in aufrechter als horizontaler Stellung.

4) Indikationen. Die Indikationen zur Orthodiagraphie sind, wie schon erwähnt, wesentlich auf die Brustorgane begrenzt. Man kann allerdings mit derselben auch die Grösse eines im Körper befindlichen Fremdkörpers feststellen, doch wird dieselbe für solche Zwecke, da es sich in solchen Fällen meist um Projektile bekannten Kalibers handelt, nur selten in Frage kommen. Auch wird man schwerlich Knochendeformitäten aufzeichnen, da die photographische Aufnahme derselben objektiv weitaus sicherere Resultate giebt und die Grössenverhältnisse genügend aus der Photographie abgeschätzt werden können. So kommen nur Aneurysmen und Tumoren im Thoraxraum und besonders das Herz in Frage.

Das Hauptanzeichen für die orthodiagraphische Untersuchung ergiebt also die Feststellung der Grössenverhältnisse des Herzens. Wenngleich in den meisten Fällen durch die Perkussion ein für die Diagnose ausreichendes Bild der Grössenverhältnisse des Herzens gewonnen werden kann, so ist dieses Bild der objektiven Wirklichkeit kaum jemals genau entsprechend. Unter zehn Untersuchern werden sich nicht zwei finden, welche bei der Perkussion des

*) Der Apparat wird von der Firma „Elektrotechnisches Laboratorium", Aschaffenburg, hergestellt.

Herzens bei der relativen Herzdämpfung in allen Umgrenzungslinien des Herzens auch nur auf einen Centimeter genau übereinstimmen. Und doch ist nur die relative Herzdämpfung für die wirklichen Grössenverhältnisse des Herzens einigermassen massgebend. Die zur Orientierung herangezogene Lage des Spitzenstosses des Herzens bezeichnet doch nur im günstigsten Falle einen einzigen Punkt der Herzperipherie, und es ist dieser Orientierungspunkt nur von zweifelhaftem Wert, zumal da feststeht, dass der Spitzenstoss bei verschiedenen Körperstellungen, bei verschiedener Füllung des Magens, bei Erweiterung der Lungen, bei Tiefstand und bei Lähmung des Zwerchfelles und unter sonstigen Umständen seine Lage wechselt.

Die von manchen Seiten empfohlene Bacci-Bianchi'sche „Frictionsmethode" ist als wissenschaftliche Methode unhaltbar. Die von ihr behaupteten Resultate sind von keinem, der dieselben nachgeprüft hat, bestätigt worden, sie beruht auf der Annahme physikalischer Unmöglichkeiten.

Es ist demnach eine Methode, welche die genaue Feststellung der Herzgrenzen ermöglicht, auch heute noch nicht gefunden worden. Die Radioskopie in Verbindung mit der Orthodiagraphie ist bei Anwendung der notwendigen Vorsichtsmassregeln wohl von allen bis jetzt bekannten Methoden die zuverlässigste. Diese Vorsichtsmassregeln müssen zunächst darin bestehen, dass der Patient genau parallel mit seiner Frontalebene zum Leuchtschirm sitzt, dass Stift und Antikathode einander möglichst genau gegenüberstehen, dass fernerhin die Aufzeichnung unter Anhalten des Atmens in derselben Phase der Respiration erfolgt (am besten bei tiefster Inspiration, weil dann das umgebende Lungengewebe am hellsten durchscheinend ist). Ferner muss stets dieselbe Phase der Herzaktion aufgezeichnet werden, am besten zunächst die Systole, aber auch die Diastole ist von Wichtigkeit. Natürlich muss zu einer genauen Untersuchung hinreichende Uebung des Untersuchers vorausgesetzt werden. Dass diese notwendig ist, kann nicht genug betont werden. Die Ergebnisse der Orthodiagraphie sind natürlich auch beschränkt, denn diese giebt nicht die Ausdehnung des Herzens genau in der wirklich grössten Längs- und Querrichtung oder den denkbar grössten Herzumfang wieder, sondern die Grösse einer Ebene, welche durch den grössten frontalen Durchmesser des Herzens gelegt ist. Bei Achsendrehungen des Herzens, beim Zurücksinken des Herzens

nach hinten, beim Abwärtssinken der Herzspitze werden andere Querschnitte des Herzens gezeichnet, wie bei der normalen Lage des Herzens. Nun fehlen noch bisher, abgesehen von den Moritz-schen Untersuchungen, hinreichende Feststellungen über die normale Grösse dieses Schattenbildes. Es muss demnach zu jeder Körpergrösse eigentlich erst das normale Mass gefunden werden. Zu vergleichenden Untersuchungen bei demselben Individuum ist die Methode schon jetzt vollkommen ausgebildet, und sie hat besonders dazu beigetragen, die Lehre von der akuten Herzdilatation bei Gesunden zu erschüttern.

5) Praktische Anwendung.

Die Anwendung des Verfahrens gestaltet sich nun folgendermassen: Bei dem Moritz'schen, für horizontale Untersuchungen eingerichteten Apparat wird der Kranke flach auf den Untersuchungstisch gelegt, sodass beide Schultern der Unterlage wohl anliegen, dabei kann man den Kopf durch eine Rolle oder ein Keilkissen etwas stützen. Nachdem der Kranke gelagert ist, wird das Zeichengestell über den Tisch gelegt, sodass es auf den seitlichen Walzen aufliegt, dann wird die Seitenlehne soweit herabgelassen, dass der herabgelassene Zeichenstift überall die Brusthaut erreichen kann, also etwa 1—2 cm von der Brustmitte entfernt. Man stellt nun Punkt für Punkt der Herzkontur unter Verschiebung des Leuchtschirmes so ein, dass die Durchbohrung des Leuchtschirmes, welche durch einen Metallring markiert ist, genau auf die Grenze des Herzschattens kommt, und markiert durch Herablassen des Zeichenstiftes jedesmal die Stelle, welche den Schatten begrenzt. Man beginnt an der Herzspitze und geht den linken Konturen des Herzens entlang nach oben.

Bei dem von mir angegebenen Zeichenapparat für senkrechte Stellung des Körpers wird der Patient zunächst hinter den Schirm gestellt, er setzt sich dann leicht auf den Sitz, wobei dieser möglichst stark vorgeschoben wird. Es befindet sich nunmehr der Körper des Patienten zwischen dem mit Drähten bespannten Messrahmen vorn und der Lehne des Stuhles hinten. Letztere ist zunächst ziemlich niedrig gestellt und wird, während der Patient die Arme seitwärts hebt, soweit emporgeschoben, dass die Stützleisten unter den Achseln zu liegen kommen, diese selbst werden dabei auf die Thoraxbreite des Patienten eingestellt. Lässt der Patient nun die Arme sinken, so begegnet er bei jeder Bewegung nach rechts oder links, vor- oder rückwärts einer festen Stütze, und es sind Verdrehungen des Körpers

bei der Aufnahme nicht möglich. Die Aufzeichnung erfolgt in derselben Weise, wie in der liegenden Stellung, man beginnt bei der Herzspitze und geht von da nach oben. Auf der rechten Seite beginnt man am Herzzwerchfellwinkel und zeichnet ebenfalls aufsteigend auf. Bevor man das Herz aufzeichnet, werden die auf dem Schirm sich deutlich markierenden Orientierungslinien der Körperoberfläche aufgezeichnet. Die verschiebbaren Drähte werden nämlich, nachdem der Patient sich gesetzt hat, auf die Mittellinie und die beiden Mammillarlinien eingestellt, durch einen diese Linien kreuzenden Querdraht werden die Orte der Mammillen festgelegt. Nachdem die Aufzeichnung der Drahtlinien und der Herzkontur fertig ist, hat man ein Bild des Herzens in der Frontralebene nebst den Orientierungslinien der Körperoberfläche, alles in senkrechter Projektion auf dem Zeichenblatt sofort fertig.

Man kann diese Markierung in zweierlei Weise vornehmen, indem man auf einem Gelatinepapierblatt über dem mit Glas bedeckten Leuchtschirm aufzeichnet, oder indem man mit einem durchlochten kleinen Schirm über ein Zeichenbrett, welches ebenfalls an dem Apparat angebracht wird, sodass es seitlich über den Rahmen geklappt werden kann und auf welches ein Blatt gewöhnliches Schreibpapier geklemmt ist, in derselben Weise hinfährt, indem man die einzelnen Punkte markiert. Letztere Einrichtung erlaubt auch, die Herzkonturen direkt auf die Brust des Patienten aufzuschreiben, sodass man mit diesem Apparat sämtliche Arten der Orthodiagraphie ausführen kann. Bei dem Moritz'schen Apparat muss man dadurch, dass man eine Glasplatte auf die Brust des Kranken legt, auf diese die Herzkonturen von der Oberfläche des Körpers abpausen. Beim Boas-Grunmach'schen Apparat kann man nur Aufzeichnungen auf Papier machen. Je nach dem Zweck, den man mit der Untersuchung verbindet, wird man eine andere Methode wählen. Von der direkten Aufzeichnung auf die Brust des Kranken bin ich immer mehr abgekommen, da es im Wesentlichen doch darauf ankommt, das Bild der Herzgrösse aufzubewahren und zu späteren Vergleichen heranzuziehen. Die Methode mit Aufzeichnung des Herzens auf Gelatinepapier ist für vergleichende Untersuchungen bei demselben Patienten zu verschiedenen Zeiten ausserordentlich geeignet, da man sämtliche aufgezeichneten Bilder durch Uebereinanderlegen der Gelatineblätter leicht zur Deckung bringen kann und auf diese Weise leicht kon-

statieren kann, welche Eingriffe oder Schädlichkeiten auf die Herzgrösse eingewirkt haben.

Das aufgezeichnete Herzbild kann nun auch nach bestimmten Richtungen hin mit dem Centimetermass ausgemessen werden. Als Ausgangspunkt dient die Mittellinie des Körpers. Von der Herzspitze und auch von dem Punkte, der am weitesten nach rechts liegt, wird eine senkrechte auf die Mittellinie hingefällt, und diese beiden Lothe bezeichnen ungefähr den Durchmesser des linken Ventrikels und den des rechten Vorhofes. Die Linie von der grössten Konkavität rechts bis zur Herzspitze entspricht dem grössten Durchmesser des Herzens. Ebenso lässt sich von dem Leber-Herzwinkel rechts zur grössten Konkavität nach links eine Linie legen, welche ungefähr dem Durchmesser des rechten Ventrikels entspricht. Nimmt man die Zeichnung vermittels des Messapparates auf, so ist man in der Lage, auch die Parasternallinie durch einen senkrechten Draht einzustellen. Will man nicht die Orientierungslinien der Oberfläche, wie sie von altersher zur Bestimmung der normalen und pathologischen Herzgrösse herangezogen werden und so einen guten Vergleich mit den Ergebnissen der Perkussion erlauben, heranziehen, so wird man die oben genannten Linien in Centimetern ausmessen und aufschreiben; man kann auch nach Moritz' Vorschlag den Flächeninhalt des Herzschattens berechnen, indem man aus einem Papier, welches mit einer Linieneinteilung in Quadrat-Centimetern versehen ist, den Herzschatten genau ausschneidet, wobei man sich die unteren und oberen Herzgrenzen durch Kombination zu konstruieren hat. Zählt man die auf das ausgeschnittene Stück kommenden Quadrate, so hat man die Grösse des Herzschattens in Quadratcentimetern. Letztere Messung beruht stets auf zum Theil mehr oder weniger willkürlich angenommenen Begrenzungen und kann eine absolute Richtigkeit nicht beanspruchen. Die Frage der Notwendigkeit resp. Zweckmässigkeit der orthodiagraphischen Untersuchung im Einzelfalle erledigt sich mit der Frage, ob es wünschenswert ist, eine möglichst genaue Bestimmung des Verhaltens des Herzens in diesem Falle zu besitzen. Man wird vor allen Dingen in zweifelhaften Fällen von Herzvergrösserung, ferner bei dem Studium der Wirkungen von Anstrengungen, Alkohol und sonstigen Schädlichkeiten auf das Herz vermittels der Orthodiagraphie genaue Feststellungen erstreben. Es scheint aber auch heute schon keine Frage mehr zu sein, dass diese Methode, je mehr sich das dazu benötigte Instrumentarium

vervollkommnet und je sicherer und einfacher dadurch die Untersuchungen werden, für die gesammte Herzdiagnostik eine grosse Zukunft hat. Die Schnelligkeit, mit der die Untersuchung erfolgen kann, wenn eben der Apparat stets zum Gebrauch fertig steht, die wachsende Uebung des Einzelnen, daneben die zunehmende Kenntnis der bei normalen und pathologischen Verhältnissen zu erwartenden Befunde wird der Methode in Zukunft nicht nur in Kliniken und Krankenhäusern, sondern auch in der Praxis zur weiteren Anerkennung verhelfen.

4. Kapitel.

Ueber Stereoskopie im Röntgenverfahren.

Von

Dr. Hildebrand, ausserordentlichem Professor in Marburg.

1) Mängel der gewöhnlichen Röntgenaufnahme.

Noch immer wird die Stereoskopie im Röntgenverfahren viel zu wenig benutzt, obwohl dieselbe eine wesentliche Verbesserung des Verfahrens bedeutet, welche in vielen Fällen Ausserordentliches leistet. Denn so wertvoll und wunderbar auch schon die mit einfachen Röntgenbildern erzielten Resultate sind, so wesentlich auch der Nutzen derselben für die Diagnose ist, es sind und bleiben Schattenbilder; und bei der Betrachtung eines Schattenbildes ist man selbstverständlich den grössten Täuschungen ausgesetzt.

Wie soll man an einem Schattenbild erkennen, in welcher Ebene, in welcher Tiefe z. B. ein Fremdkörper gelegen ist? wie erkennen, welchem von mehreren aufeinander prozijierten Knochenschatten eine Knochenwucherung angehört etc.?

Ueber die Tiefendimension giebt das einfache Röntgenbild keinen Aufschluss, und infolgedessen ist oft ein Bild, welches auf den ersten Blick ausserordentlich wertvoll erscheint, schliesslich für die Therapie nicht zu gebrauchen, weil man über den genauen Sitz der gefundenen Abnormität selbst durch das Röntgenbild nicht belehrt wird. Ja, in einzelnen Fällen wird man sogar zu Fehlgriffen veranlasst werden können, da falsche Diagnosen auf Grund von Röntgenbildern nicht nur möglich sind, sondern thatsächlich oft genug vorkommen.

Schon von vornherein, als es gelang, gute Röntgenbilder herzustellen, wurde dieser Uebelstand unangenehm empfunden, und besonders bei Fremdkörpern stellte es sich heraus, dass man wohl das Vorhandensein des Fremdkörpers, nicht aber den Sitz desselben so sicher feststellen könne, dass man leicht auf ihn einzuschneiden in der Lage sei.

Man versuchte deshalb durch die verschiedensten Methoden diesem Uebelstande abzuhelfen.

2) Erkennung der Tiefenlage eines projicirten Körpers.

Ein Verfahren, welches am nächsten liegt und sehr frühzeitig angewendet wurde, war das, in zwei verschiedenen aufeinander senkrecht stehenden Ebenen Aufnahmen zu machen, z. B. bei einem Fremdkörper in der Mittelhand, zuerst vom Rücken aus bei aufgelegter Hand, und dann bei auf die Kleinfingerseite aufgestellter Hand von der Seite. Einen Fortschritt bedeutet dies Verfahren sicherlich, und in einzelnen Fällen wird man so zum Ziel kommen und, um bei dem erwähnten Beispiel zu bleiben, feststellen können, ob der zwischen zwei Metakarpalknochen liegende Fremdkörper auf der Volar- oder Dorsalseite gelegen ist. Immer wird man aber auch in diesem einfachen Fall nicht das gewünschte Resultat erreichen, denn die vier Mittelhandknochen liegen nicht in einer Ebene, und bei einer seitlichen Aufnahme werden die vier Knochenschatten teilweise aufeinanderfallen und man wird sie nicht differenzieren können; der Fremdkörper liegt eventuell mitten unter ihnen, von Knochenschatten bedeckt, und man ist nach der zweiten Aufnahme häufig nicht klüger als zuvor.

Umsoweniger wird man in schwierigeren Fällen etwas mit dieser Methode erreichen.

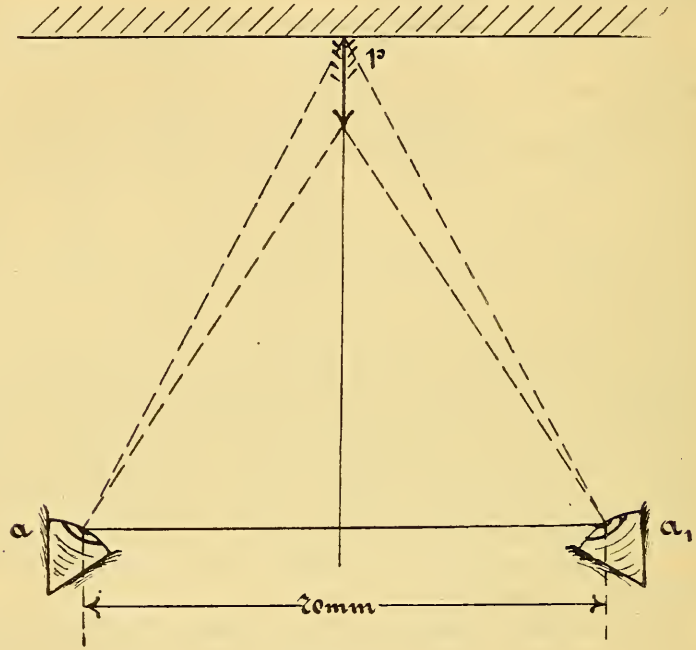
Man suchte deshalb weiter nach besseren Methoden, und es giebt in der Röntgenlitteratur eine grosse Menge von „Verfahren zur genauen Bestimmung von Fremdkörpern“. Viel Mühe ist bei der Ausarbeitung einzelner derselben angewendet worden, denn es giebt solche, welche es nur mit Hilfe verwickelter mathematischer Formeln ermöglichen, „die wahre Länge“ des Fremdkörpers festzustellen.

Dass alle diese Methoden teils wegen ihrer Kompliziertheit, teils aus anderen Gründen keine einwandfreien Resultate geben und für die Praxis von nicht allzu grossem Werte sind, beweist wohl schon die grosse Menge der beschriebenen Methoden. Bereits im Jahre 1900 konnte Brandt über 70 zusammenzählen. Seitdem ist die Wissenschaft noch um einige weitere bereichert worden.

3) Wesen der stereoscopischen Röntgenaufnahme.

Es lag nahe, da gerade die Körperlichkeit den Röntgenbildern fehlte, den Versuch zu machen, die Stereoskopie in das Röntgenverfahren einzuführen, und schon frühzeitig beschäftigten sich Forscher mit dieser Aufgabe.

Theoretisch ist es einleuchtend, dass es möglich sein muss, körperliche Röntgenbilder herzustellen. Ebensogut wie wir im gewöhnlichen Leben teilweis durchsichtige Gegenstände, wenn



Figur 1.

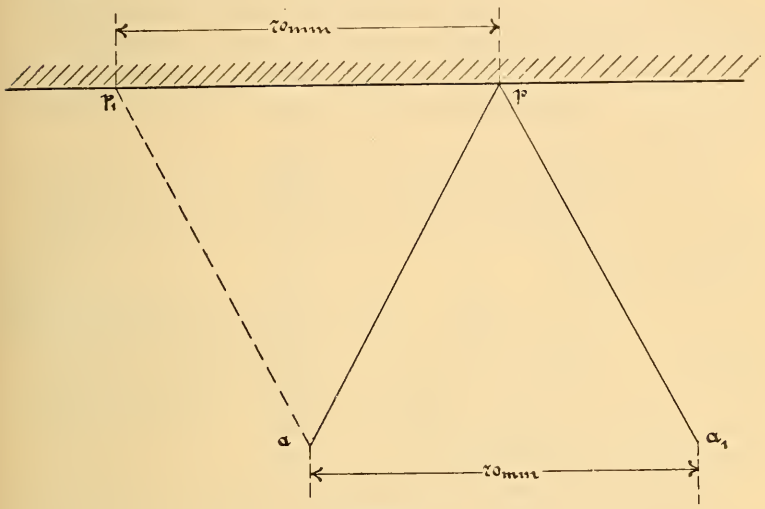
sie von hinten beleuchtet sind, körperlich sehen und von ihnen stereoskopische photographische Bilder anfertigen können, ebensogut muss letzteres mit durch Röntgenstrahlen durchleuchteten Gegenständen gelingen.

Das körperliche Sehen kommt dadurch zu stande, dass die beiden Augen den Gegenstand von 2 verschiedenen Punkten aus betrachten und dadurch die in beide Augen fallenden Bilder eine geringe Verschiedenheit zeigen.

Um bei dem oben angeführten Beispiel zu bleiben, so wird das

von einem durchsichtigen Gegenstand geworfene Schattenbild, welches in das rechte Auge fällt, eine andere Projection der einzelnen Schatten zeigen als das in das linke Auge fallende.

Gelingt es also, im Röntenverfahren 2 Schattenbilder des Gegenstandes herzustellen, welche die gleiche Verschiedenheit in der Projection der Schatten zeigen wie die eben erwähnten, so müssen dieselben, durch das Stereoskop vereinigt, körperlich wirken. Solche Röntgenbilder kann man sehr einfach gewinnen, wenn man von zwei



Figur 2.

verschiedenen Punkten aus, welche, dem Abstand der menschlichen Augen entsprechend, ca. 7 cm von einander entfernt sein müssen, 2 verschiedene Aufnahmen macht. Die entstehenden Schattenbilder entsprechen genau denjenigen, welche, vorausgesetzt dass der Gegenstand mit gewöhnlichem Licht von hinten beleuchtet würde, in unsere Augen fallen würden.

Nehme ich an, in Figur 1 wäre p der von hinten beleuchtete Gegenstand und in a und a_1 befänden sich die Augen eines Beobachters, so wird das in das Auge a fallende Schattenbild ein total anderes sein, als das in a_1 fallende; aber genau dieselben Schattenbilder wird man erhalten, wenn man an Stelle der Augen Röntgenröhren stellt, direkt hinter den Gegenstand eine photographische

Platte bringt und nun von diesen beiden Punkten aus je eine Aufnahme macht.

Man kann selbstverständlich nicht beide Aufnahmen gleichzeitig, sondern muss 2 getrennte Aufnahmen machen und die Platten hinter dem Objekt wechseln.

Ob man zur 2. Aufnahme bei feststehendem Objekt die Röhre um 7 cm seitlich verschiebt oder bei feststehender Röhre das Objekt, ist einerlei.

Nehmen wir an, in Figur 2 sei wieder p das Objekt und in a stände die Röntgenröhre bei der ersten Aufnahme. Für die zweite Aufnahme könnte man einfach die Röhre nach a_1 verschieben; das gleiche Bild wird man aber erhalten, wenn man die Röhre in a stehen lässt und den Gegenstand nach p_1 verlegt, denn $a_1 p$ und $a p_1$ sind parallel.

Der letztere Weg, das heisst, das Objekt um 7 cm zu verschieben bei festgestellter Röhre, ist von vornherein der einfachere und nach diesem Prinzip sind die ersten stereoskopischen Bilder angefertigt worden.

Das erste Bild, welches veröffentlicht wurde, ist wohl von Büttner & Müller (Technik und Verwertung der Röntgenschen Strahlen). Es handelt sich dabei um die Aufnahme einer skelettierten Hand, von welcher einzelne Knochen mit Draht umwickelt waren. Das Bild wirkt vorzüglich und stellt eine wohlgelungene stereoskopische Aufnahme dar.

Auch diese Methode der Aufnahme ist natürlich nicht leicht und für lebende Gegenstände kaum zu verwerten; denn es ist notwendig, das Objekt, ohne seine sonstige Lage und Stellung irgendwie zu verändern, um 7 cm seitlich zu verschieben und eine neue Platte unter dasselbe zu bringen. Ist die Lage nur ein wenig verändert, so ist es nicht möglich, die gewonnenen Bilder im Stereoskop zu vereinigen.

Um diesem Uebelstande zu begegnen schlug man den anderen Weg ein und versuchte die Aufnahme so vorzunehmen, dass man den Gegenstand liegen liess und nur die Röhre um 7 cm verschob.

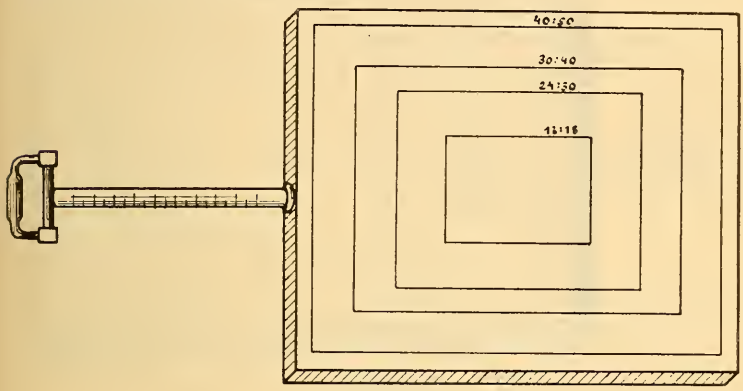
Braucht man bei dieser Anordnung auch den Gegenstand selbst nicht zu verschieben, so muss man doch unter ihn eine neue Platte bringen und an dieser Schwierigkeit scheiterten wieder die meisten Versuche.

4) Apparate zur stereoscopischen Röntgenaufnahme.

Als ich mich im Sommer 1900 mit stereoskopischen Aufnahmen beschäftigte, war es mein Hauptbestreben, diese Schwierigkeit aus dem Wege zu räumen. Nach einigen Versuchen gelang es mir, eine Kassette zu konstruieren, welche es ermöglicht, von jedem beliebigen Gegenstand, selbst vom Becken eines Menschen mit der grössten Leichtigkeit eine stereoskopische Aufnahme zu machen.

Der Apparat wurde von mir in den „Fortschritten auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen“*) beschrieben. Ich schliesse mich im Folgenden an diese Beschreibung an.

Der Apparat besteht aus einem hölzernen Futteral, in welchem eine gewöhnliche Kassette, wie wir sie zu unseren Röntgenaufnahmen benutzen, leicht verschiebbar ist.



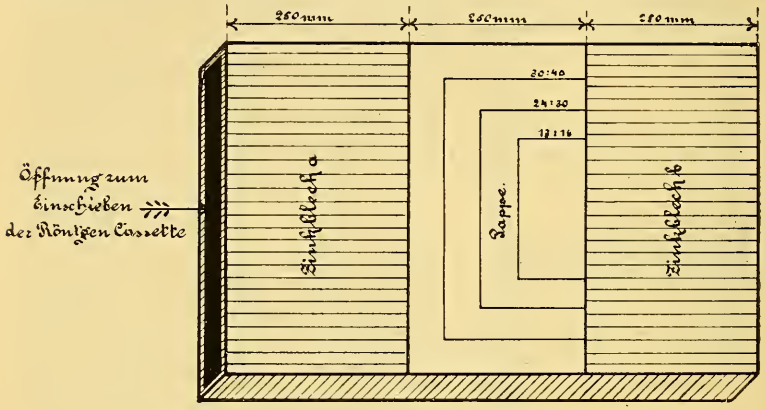
Figur 3.

An der Kassette befindet sich ein mit Centimetereinteilung versehener Arm mit Handgriff, welcher das Verschieben der Kassette im Futteral ermöglicht. (Fig. 3)

Das Futteral ist nach oben mit ganz dünner Pappe verschlossen, derselben Pappe, mit welcher die gewöhnlichen Kassetten bedeckt sind; auf diese Pappe kommt das Objekt, welches demnach der photographischen Platte sehr nahe aufliegt und nur durch eine doppelte Pappschicht von ihr getrennt ist. Die Pappe liegt nur in der Mitte in einer Ausdehnung von 25 cm frei (Fig. 4). Zu beiden Seiten ist dieselbe je 25 cm breit mit 3 mm dicken Zinkplatten bedeckt, welche die Röntgenstrahlen völlig abhalten.

*) Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen, 1900.

Schiebe ich die mit einer Platte 40 : 50 armierte Kassette tief in den Rahmen ein, so verschwindet die Hälfte der eingelegten Platte unter dem Zinkblech b; die andere Hälfte dagegen liegt frei unter der mittleren Pappe. Auf die letztere wird alsdann das zu untersuchende Objekt, ev. ein Mensch gelegt und die erste Aufnahme gemacht. Nach Beendigung derselben verschiebt man die Röntgenröhre in der gleichen Richtung, wie die Kassette eingeschoben ist, um 7 cm, was an einem einfachen horizontalen Arm, welcher mit cm-Einteilung versehen ist, leicht ausführbar ist, und zieht gleichzeitig die Kassete um 25 cm aus dem Futteral heraus. Es



Figur 4.

verschwindet dann der so eben belichtete Teil der Platte unter dem Zinkblech a und der bisher geschützte unbelichtete Teil schiebt sich unter dem Blech b heraus unter die freie Pappe und den zu untersuchenden Gegenstand. Man macht jetzt die zweite Aufnahme, ohne dass der Gegenstand überhaupt berührt oder in seiner Lage irgendwie verschoben worden ist. Man erhält so beide Bilder auf einer Platte.

Statt dass man die Kassette bei der zweiten Aufnahme um 25 cm aus dem Futteral heraus zieht, kann man dieselbe auch von vornherein in diese Lage unter das Zinkblech a bringen und zur zweiten Aufnahme die Kassette hineinschieben, so dass jetzt die belichtete Platte unter das Zinkblech b kommt. Es hat dies bei schweren Objekten seinen Vorteil, weil man die Kassette, ehe sie durch das Objekt beschwert ist, leichter bis zu der bestimmten

Marke einführen kann und zur zweiten Aufnahme nur nötig hat, die Kassette so tief, als es geht, einzuschieben. — Dadurch wird die ruhige Lage des Objekts möglichst wenig gestört.

Das Zinkblech a ist verschiebbar hergestellt und dadurch kann ich die freiliegende Pappe nach Belieben verkleinern und mit Platten aller Grössen arbeiten.

Ich brauche nur bei der ersten Aufnahme die Kassette bis zu den am Arm a (Fig. 3) angebrachten Marken, welche den einzelnen Plattengrössen entsprechen, einzuführen und das Zinkblech a bis zu den entsprechenden oben auf der Pappe angebrachten Marken vorzuschieben, sodass die Hälfte der Platte geschützt wird. Für die zweite Aufnahme ist dann bei jeder Plattengrösse weiter nichts nötig, als die Kassette vollends einzuschieben.

Gerade durch diese einfache Einrichtung unterscheidet sich dieser Apparat von anderen, welche ich neuerdings in Katalogen angezeigt fand und welche immer nur für bestimmte Plattengrössen brauchbar sind, so dass man mehrere Apparate nötig hat.

Bei Herstellung stereoskopischer Bilder mit meinem Apparat hat man noch den grossen Vorteil, beide Bilder auf einer Platte völlig parallel nebeneinander zu haben in einer Lage, wie sie zum stereoskopischen Sehen notwendig ist.

5) Das stereoscopische Sehen des Röntgenbildes.

Es fragt sich nun, wie man die Bilder am besten beim Ansehen zur Vereinigung bringt, so dass ein körperliches Sehen ermöglicht wird.

Viele Menschen vermögen durch künstliche Schielstellung der Augen die Bilder ohne weiteres zu vereinigen und für sie ist jede weitere Manipulation mit den Bildern überflüssig. Dies direkte stereoskopische Sehen ist nicht schwer und es ist mir häufig gelungen, es Andere zu lehren. Stellt man sich vor eine stereoskopische Aufnahme und erzeugt durch Blicken in die Ferne Doppelbilder, so muss man von den nun sichtbaren 4 Bildern der stereoskopischen Aufnahme die beiden mittelsten zur Vereinigung zu bringen suchen; man sieht alsdann 3 Bilder, von welchen das mittlere körperlich wirkt. Nach einiger Uebung gelingt es dies Bild so festzuhalten, dass man alsdann auch auf dasselbe accomodieren kann, ohne die Konvergenz zu ändern. Auf längere Zeit strengt das Sehen natürlich an, da man die Accomodation anders anspannen muss, als man es bei der bestimmten Konvergenzstellung gewöhnt ist (relative Accomodation). Bei einiger Uebung gewöhnt man sich

daran; ich selbst kann stereoskopische Bilder sehen, sowohl wenn ich in Divergenz- als in Konvergenzstellung meiner Augen Doppelbilder erzeuge.

Immerhin ist diese Art des Ansehens nur ein Notbehelf, und im allgemeinen wird man sich eines Stereoskops bedienen müssen, um körperlich sehen zu können.

Da die gewöhnlichen Stereoskope für Bilder von 7 cm Bildweite eingerichtet sind, so muss man von den Originalröntgenplatten Verkleinerungen auf eine Bildweite von 7 cm machen und das entstandene Diapositiv mit dem Stereoskop betrachten.

Solche Diapositive sind überraschend schön; allerdings muss man sich erst an das Anschauen dieser durchsichtigen und doch körperlich wirkenden Bilder gewöhnen. Am besten ist es zunächst, ohne das Bild viel hin und her zu verschieben, eine Zeitlang ruhig in das Stereoskop hineinzusehen und abzuwarten, bis man beide Bilder vereinigt hat. Dann erst stelle man das Bild durch Verschieben ganz scharf ein. Je länger man dann ein stereoskopisches Bild ansieht, umso besser wirkt es und umso deutlicher tritt die Plastik hervor.

Die Diapositive wirken besonders gut, weil sie natürliche Verhältnisse zeigen. Die wenig durchleuchteten Stellen, Knochen etc., erscheinen dunkel, die durchleuchteten Partieen, wie Lungen, Weichteile, sind hell.

Einen weiteren Vorzug haben diese Diapositive deshalb, weil durch die Verkleinerung die Konturen erheblich schärfer werden und dadurch die Körperlichkeit der Bilder erhöht wird.

Natürlich machen die Verkleinerungen Mühe und es gehören gewisse technische Fertigkeiten dazu, immer wirklich gute Bilder herzustellen.

Am einfachsten geht man so vor, dass man die Originalaufnahme nach dem Trocknen mit der Glasseite auf eine Mattscheibe legt und stark von hinten beleuchtet, entweder durch künstliches Licht, oder indem man sie einfach an das Fenster stellt. Alsdann photographiert man das Bild mit einer gewöhnlichen Camera (13 : 18) ab.

Man geht mit der Camera so weit von der Originalplatte ab, bis die beiden auf der Mattscheibe entstehenden verkleinerten Bilder einen Abstand von 7 cm haben. Mit einem Centimetermass kann man dies leicht auf der Mattscheibe ausmessen.

Will man seitliches Licht abhalten, so kann man von der Originalplatte zur Camera zwei Stangen legen und dunkle Tücher darüberhängen.

So einfach auch, besonders bei einiger Uebung, eine Verkleinerung hergestellt werden kann, so geht doch Mühe und Zeit verloren, und es lag deshalb der Gedanke nahe, ein Stereoskop zu konstruieren, mit Hilfe dessen es möglich sei, die Originalplatten direkt zu betrachten. Im Sommer 1900 habe ich ein Modell eines solchen Stereoskops von der Firma Krüss in Hamburg herstellen lassen. Dasselbe stellte eine Camera dar, an deren vorderer Seite eine starke Konvexlinse angebracht war, während sich hinten die Gläser eines gewöhnlichen Stereoskops befanden. Letztere waren in einer bestimmten Entfernung hinter dem Brennpunkt der Linse angebracht und ermöglichten es, das durch die Konvexlinse gelieferte verkleinerte Bild direkt anzusehen. Man konnte mit dem Apparat jede stereoskopische Originalaufnahme direkt betrachten.

Eine Veröffentlichung dieses Stereoskops ist damals unterblieben.

In der Zwischenzeit ist nun von Walter (Fortschr. a. dem Geb. d. Röntgenstr., Band 6, 1902) eine Arbeit erschienen, in welcher er drei von ihm erfundene Stereoskope zum Betrachten grösserer Röntgenplatten beschreibt. Das eine derselben, das „Linsenstereoskop", beruht auf demselben Prinzip, wie das von mir angefertigte Modell; das andere ist ein Spiegelstereoskop, das dritte ein Prismenstereoskop; mit den beiden letzteren sieht man die Bilder an, ohne dass sie verkleinert werden.

Dadurch, dass diese Stereoskope eingeführt worden sind, ist wieder ein grosser Schritt vorwärts gemacht worden; denn die Anfertigung stereoskopischer Bilder ist dadurch wesentlich erleichtert, dass eine Verkleinerung in vielen Fällen nicht mehr nötig ist und man sie direkt mit einem Walter'schen Stereoskop betrachten kann.

Die stereoskopische Aufnahme ist so kaum zeitraubender als eine einfache Aufnahme, höchstens um die einmalige Expositionszeit. Bei wichtigern Fällen sowie zu Demonstrationszwecken wird es sich allerdings aus den oben angegebenen Gründen empfehlen, doch ein verkleinertes Diapositiv herzustellen.

Es ist zu hoffen, dass nach der geschilderten Verbesserung die stereoskopischen Aufnahmen eine weit grössere Verbreitung finden werden, als es es bisher der Fall war. 6) Anwendungsgebiet.

Dass sie eine weitere Verbreitung verdienen, dass sie in vielen Fällen ungleich mehr leisten als die einfachen Aufnahmen, muss Jeder zugeben, der einmal solche Aufnahmen gemacht und gesehen hat. Es sind bestimmte Gebiete, auf welchen das stereoskopische Röntgenbild Besonderes leistet, und es erübrigt, kurz auf diese Gebiete einzugehen.

Im Verein mit Wieting und Scholz habe ich einen Atlas stereoskopischer Röntgenbilder herausgegeben (die Originalplatten wurden 1902 auf der internationalen Ausstellung ärztlicher Lehrmittel, Berlin, vom preussischen Kultusministerium mit der silbernen Medaille prämiiert), welcher die wesentlichsten Gebiete umfasst.*)

Ganz besonders sind es Fälle von Fremdkörpern, welche die günstigsten Bedingungen für stereoskopische Aufnahmen bieten. Schon eingangs erwähnte ich die mannigfachen Versuche und Methoden, Fremdkörper zu lokalisieren. Alle diese Methoden werden übertroffen durch das stereoskopische Bild, vor allem wegen der Einfachheit der Ausführung. Mit Hilfe des stereoskopischen Bildes gelingt es in den meisten Fällen, den Sitz des Fremdkörpers festzustellen, wenigstens so sicher, dass es möglich ist, die Operation vorzunehmen. Ich sage nur in den meisten Fällen; dass es stets gelinge, liegt mir fern zu behaupten. Man muss von einer Methode nicht alles verlangen wollen. Liegt z. B. ein Fremdkörper ganz frei in der Lunge oder mitten im Gehirn, so wird man auch mit dem Stereoskop eine genaue Lokalisierung nicht vornehmen können. Denn es muss vor allen Dingen betont werden: mit dem Stereoskop wollen wir nicht die Lage des Fremdkörpers nach Centimetern im Raum bestimmen, sondern nur seine relative Lage, seine Lage im Verhältnis zu anderen sichtbaren Schatten, insbesondere den Knochen. Diese relative Lage, ob der Fremdkörper vor oder hinter bestimmten Knochenvorsprüngen und -Leisten gelegen ist, lässt sich mittelst der stereoskopischen Aufnahme exakt nachweisen und man wird auf Grund eines solchen Bildes operativ vorgehen können.

Der Versuch, die Lage des Fremdkörpers mittelst einer stereoskopischen Aufnahme nach Centimetern zu bestimmen, ist unnötig und ebenso unsicher wie alle übrigen auf Messungen beruhenden Methoden.

---

*) Verlag Bergmann, Wiesbaden.

Beschränkt man sich darauf, die relative Lage festzustellen, so braucht man auch bei der Aufnahme nicht allzugrosse Vorsicht walten zu lassen. Ob man die Röhre peinlich genau um 7 cm verschiebt oder etwas mehr oder weniger, ist einerlei; je nachdem erscheint das gesamte Bild mehr oder weniger tief. Das Verhältnis der Tiefenlage eines Fremdkörpers zu benachbarten Knochen bleibt aber ganz das gleiche. Für praktische Zwecke genügt in den meisten Fällen die Kenntnis dieses Verhältnisses, um die Operation vornehmen zu können.

Vorzügliches leistet ferner das stereoskopische Bild bei Knochenbrüchen. Dass Knochenbrüche so verlaufen können, dass bei einer einfachen Aufnahme fast nichts zu sehen ist, ist eine allbekannte Erfahrung. In solchen Fällen ist eine zweite Aufnahme in anderer Richtung notwendig, und dies ist zeitraubend und für den Patienten lästig und eventuell mit Schmerzen verbunden. Im stereoskopischen Röntgenbild erkennt man sofort jede Dislokation nach irgend einer Seite hin. Man sieht die Knochenenden in ihrer wirklichen Lage im Raum liegen. Von welch' eminentem Vorteil dies im Einzelfall sein kann, bedarf keiner Erläuterung. Gewiss wird man bei Knochenbrüchen, falls überhaupt eine Röntgenaufnahme nötig ist, in den meisten Fällen mit einer einfachen Aufnahme auskommen. Ergeben sich aber Schwierigkeiten in der Beurteilung, so wird eine stereoskopische Röntgenaufnahme mit Leichtigkeit Aufklärung schaffen.

Noch eklatanter ist der Wert der letzteren bei den Veränderungen des Hüftgelenkes, der congenitalen Hüftgelenksluxation, der coxa vara etc. Ueber die eigentliche Stellung des Schenkelkopfes, über die Art der Verbiegung des Schenkelhalses kann überhaupt nur das stereoskopische Bild einen klaren Aufschluss geben. Man ist erstaunt, wenn man die einzelnen Knochen in ihrer natürlichen Stellung schweben sieht und einen klaren Einblick in die Verhältnisse des einzelnen Gelenkes erhält. Gerade diese Bilder müssen Jeden, der sie sieht, zum Freund der Methode machen.

Abgesehen von manchen andern Gelegenheiten, bei welchen das stereoskopische Bild Vorteil bringt, möchte ich nur noch die Aufnahme von injicierten Gefässen erwähnen, welche von mir in grosser Zahl gemacht worden sind. Der erste Teil des oben erwähnten Atlas bringt solche Bilder. Injiciert man die Gefässe mit einer

quecksilberhaltigen Masse*), so kann man im stereoskopischen Röntgenbild die Verzweigung der einzelnen Gefässe und deren Verlauf auf das Genaueste verfolgen. Ich glaube, dass diese Bilder für den Unterricht sowie für andere Zwecke gut zu verwerten sind. Jedenfalls gewähren sie einen überraschend schönen Anblick.

Es ist nicht möglich alle Anwendungsweisen der stereoskopischen Röntgenbilder anzuführen. Wer sich überhaupt mit Anfertigung solcher Bilder beschäftigt, für den ergeben sich Fälle genug, in welchen er Vorteile davon haben wird.

Ich muss noch einer Eigentümlichkeit der stereoskopischen Röntgenbilder gedenken. Es ist bekannt, dass man bei gewöhnlichen stereoskopischen Aufnahmen die Bilder später vertauschen muss, weil sonst die Perspectiven völlig umgekehrt sind und die hinten gelegenen Gegenstände vorn zu liegen scheinen und umgekehrt. Auf die nähere Erklärung gehe ich nicht weiter ein. Es giebt dies natürlich Zerrbilder der schlimmsten Art, da Gegenstände durchsichtig erscheinen, welche es nicht sind, und da die kleinen, eigentlich weit entfernt liegenden Gegenstände in den Vordergrund kommen. Anders mit den Röntgenbildern: hier handelt es sich um Schattenbilder, und zwar um durchsichtige Schattenbilder von relativ kleinen Gegenständen, und wenn man Schattenbilder stereoskopisch ansieht, so ist es einerlei, ob die eigentlich hinten liegenden Teile vorn zu liegen scheinen oder umgekehrt, in beiden Fällen sieht man ein gutes Bild, in dem einen Fall glaubt man es von vorn, in dem anderen von hinten zu sehen.

Man hat es also vollständig in der Hand, ob man die entstehenden Bilder in Vorder- oder Rückansicht haben will. Wenn man sich daran gewöhnt, was sehr zu empfehlen ist, die Kassette immer in einer Richtung zu verschieben, z. B. bei der zweiten Aufnahme dieselbe stets so tief als möglich in das Futteral einzu-

---

*) Meine Masse war folgendermassen zusammengesetzt:

Hydrargyr. viv.	1000,0
Cera flava	40,0
Sebum	60,0
Terebinth commun.	200,0
Adeps	50,0

Das Quecksilber wird mit dem Terpentin fein verrieben und dieser Verreibung die übrige zusammengeschmolzene aber nicht heisse Masse zugesetzt.

schieben, so werden die Aufnahmen verschieden ausfallen, je nachdem man die Röntgenröhre vor der zweiten Aufnahme in derselben Richtung wie die Kassette oder in entgegengesetzter Richtung verschiebt. Die Bilder werden einfach vertauscht und in dem einen Fall erhält man beim Ansehen mit dem Stereoskop ein Bild von der Vorder-, im anderen von der Rückseite. Man muss hierauf achten, einerseits weil man bei oberflächlicher Betrachtung Täuschungen ausgesetzt sein kann, andererseits weil einzelne Bilder, vor allem Beckenaufnahmen, von vorn betrachtet viel übersichtlicher sind. Nach einiger Uebung wird man sich leicht in diese Verhältnisse hineinfinden.

Da beim Vertauschen der Aufnahmen das Bild sofort von der umgekehrten Seite erscheint, so sehe ich bei der oben geschilderten Methode des direkten Ansehens der Originalplatte das Bild bei Divergenzstellung meiner Augen von der Vorderseite, bei Convergenzstellung dagegen von der Rückseite, denn im letzten Falle entstehen gekreuzte Doppelbilder.

Ueber die Entfernung der Röhre von der Platte wäre noch nachzutragen, dass dieselbe nicht stets die gleiche zu sein braucht, und dass in jeder beliebigen Entfernung der Röhre von der Platte die Verschiebung der Röhre bei der zweiten Aufnahme um ca. 7 cm erfolgen muss. Es besteht kein bestimmtes Verhältnis zwischen der Grösse der Verschiebung der Röhre und dem Plattenabstand. Je weiter man die Röhre von der Platte entfernt, um so entfernter vom Auge erscheint später das Bild; je weiter man dagegen die Röhre bei der zweiten Aufnahme verschiebt, um so tiefer erscheint das Bild, und umgekehrt. Man kann, wie aus letzterem hervorgeht, mit Leichtigkeit je nach der Verschiebung der Röhre übertrieben flache oder tiefe Bilder herstellen, was im einzelnen Fall erwünscht sein kann. Auch in solchen, der Wirklichkeit nicht entsprechenden Bildern bleibt das Verhältnis der einzelnen Schatten zu einander bezüglich ihrer Tiefenlage das gleiche.

7) Stereoskopische Durchleuchtung.

Zum Schlusse wären noch die interessanten Versuche zu erwähnen, schon auf dem Leuchtschirm stereoskopische Bilder hervorzubringen. Die beiden dazu notwendigen Bilder können natürlich nicht gleichzeitig auf den Schirm geworfen werden, sondern man muss abwechselnd zwei Röhren, welche in dem üblichen Abstand von 7 cm aufgestellt sind, schnell hintereinander in Wirksamkeit treten lassen. Um mit den entstehenden, etwas verschiedenen Bildern

einen stereoskopischen Eindruck zu erzielen, ist es notwendig, dass das eine derselben nur von dem einen, das andere nur von dem anderen Auge des Beobachters gesehen wird.

Boas, von welchem überhaupt die ganze Idee ausgeht, hat dies durch Einschaltung eines „Stroboskops", welches durch Rotation einer mit Oeffnungen versehenen Scheibe immer nur einem Auge die Durchsicht gestattet, erreicht. Der von Boas konstruierte Apparat ist ein sehr sinnreicher, die stereoskopische Wirkung soll allerdings nur bei dünnen Objekten klar hervortreten.

In neuester Zeit ist von Reiniger, Gebhardt und Schall ein ähnlicher, wesentlich verbesserter Apparat beschrieben und in den Handel gebracht worden, mit welchem es möglich ist, sehr gute körperlich wirkende Bilder auf dem Schirm zu erzielen.

5. Kapitel.

Ueber transportable Röntgenapparate.

Von

Dr. med. Metzner, Dessau.

Patienten mit Verletzungen, besonders der unteren Extremitäten, die sich nur unter Schmerzen und mit Gefahr der Verschlimmerung ihres Leidens zum Röntgeninstitut transportieren lassen, weckten zuerst in dem Praktiker den Wunsch nach einem transportablen Röntgenapparat; auch der Kliniker macht beim Verdacht auf Schenkelhalsbruch lieber eine Röntgenaufnahme am Bett des Kranken, anstatt ihn vom Bett auf den Untersuchungstisch und von dort wieder ins Bett zu schaffen, zumal sich so gleichzeitig eine Kontrolle über die Wirkung der eingeschlagenen Extensionsbehandlung am einfachsten ermöglichen lässt. Für die Kriegschirurgie ist die Beweglichkeit des Röntgeninstrumentariums eine conditio sine qua non, und die auf einer Lafette montierten, mit Explosionsmotor und eigener Dynamomaschine betriebenen fahrbaren Röntgenstationen gehören heutzutage bereits zum eisernen Bestand jedes Feldlazaretts. 1) Wert der transp. Röntgenapparate.

Vornehmlich also praktischen Bedürfnissen entsprang das Verlangen nach einem transportablen Röntgenapparat. Die in den letzten Jahren besonders im Fluss befindliche Frage des Betriebes mit Electrolyt-Unterbrechern, welche zum Bau recht komplizierter, nicht transportabler Instrumentarien bei einigen Konstrukteuren führte (60 cm-Induktor im Gewicht von über 2 Centnern und im Preise

von ca. 1600 Mk., Primärspule mit veränderlicher Selbstinduktion, electrolytischer Unterbrecher mit 3—7facher Stiftlänge und grossem Säuregefäss, zwar übersichtlicher, doch in der Bedienung komplizierter Widerstandstisch, Verstärkung der ganzen electrischen Hausleitung), war der Konstruktion transportabler Apparate direkt nachteilig und trug überdies wesentlich dazu bei, das Gros der praktischen Aerzte der gerade für sie unserer mehrjährigen Erfahrung nach unentbehrlichen Untersuchungsmethode zu entfremden, die wir schon in Hinsicht auf das Haftpflichtgesetz und auch sonst bezüglich ihrer praktischen Bedeutung unbedingt vor die mikroskopische und bakteriologische Methode stellen möchten. Eben diese Gründe veranlassten uns auch, bereits seit Jahren in Wort und Schrift für eine allgemeinere Verbreitung der Kenntnisse und der Anwendung des Röntgenverfahrens in den Kreisen der praktischen Aerzte thätig zu sein.

2) Technische Voraussetzungen.

Hinsichtlich Durchleuchtung und Photographie sind selbstverständlich dieselben Anforderungen auch an diese Apparate zu stellen, wie an die stationären, nur müssen sie, um ihren speziellen Zwecken zu dienen, besonders klein und übersichtlich gebaut werden und leicht zu bedienen sein. Möglichste Kompendiosität bei gleichzeitiger höchster Leistungsfähigkeit sind zwei für transportable Röntgeninstrumentarien unerlässliche Forderungen, und nur der letzteren vermochten die Apparate mit veränderlicher Selbstinduktion der Primärspule gerecht zu werden; beide Anforderungen aber wurden voll und ganz erfüllt mit der Einführung einer besonderen Induktorkonstruktion und eines in den weitesten Grenzen regulierbaren electrolytischen Unterbrechers durch den Chef des Electrotechnischen Laboratoriums Aschaffenburg, Friedrich Dessauer. Als Transformator*) dient ihm ein kleiner, nach eigenen Prinzipien hergestellter Induktor von nur 15 cm Funkenlänge und dabei doch von derselben Leistungsfähigkeit bezüglich der Erzielung kritischer, d. h. kontrastreicher, intensiver, d. h. heller, absolut ruhiger X-Strahlen, wie einer der bisher gebräuchlichen Induktoren von 40 cm Schlagweite. Die Bauart dieser Hochspannungstransformatoren ist eine derartige, dass sie der Röhre ausserordentlich starke Sekundärströme zuführen. Wir wollen an dieser Stelle gleich Gelegenheit nehmen, der veralteten Anschauung entgegenzutreten, dass zu einem wirklich

*) Bezüglich der Details sei auf das in Teil I und Kap. 1 dieses Teiles über Induktorkonstruktion Gesagte verwiesen.

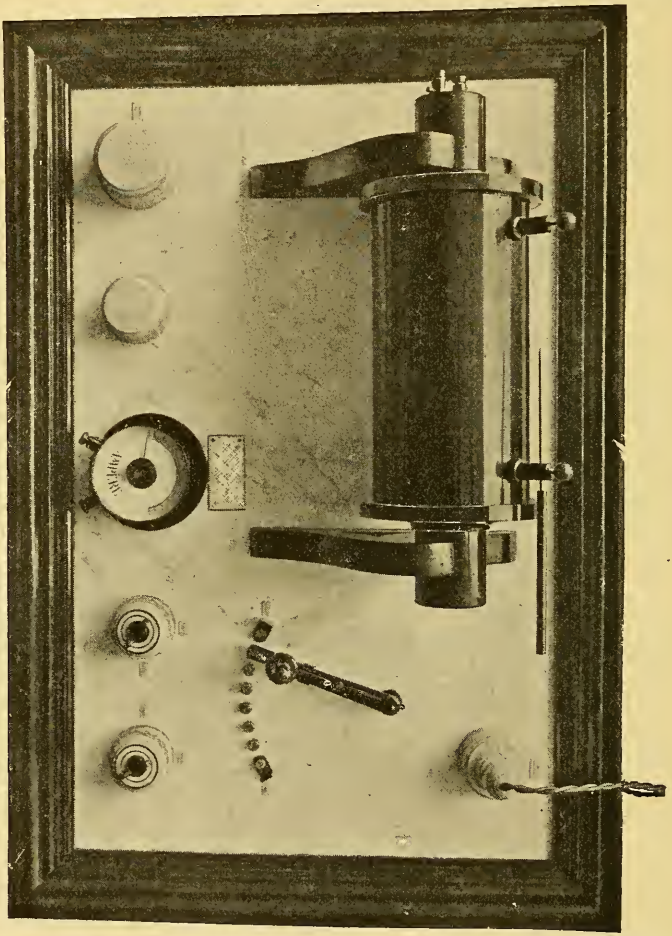
leistungsfähigen Röntgeninstrumentarium unbedingt ein Induktor mit grosser (50—60 cm) Schlagweite erforderlich sei; weder die Funkenlänge, noch gar die Grösse, sondern einzig und allein die innere Bauart der Transformatoren ist massgebend für die Erzielung kritischer und intensiver X-Strahlen.

Die Einführung des Dessauer'schen Induktors und Unterbrechers dürfte den fahrbaren Röntgenstationen für den Kriegsdienst ohne jede Einbusse der Leistungsfähigkeit neben wesentlicher Gewichtsverminderung auch eine Vereinfachung ihrer Handhabung bringen, während sie jetzt mit Rücksicht auf die bisher zur Verwendung gelangten Induktortypen mit ihrem komplizierten Nebenapparat diese Erfordernisse vermissen lassen; dass man sie trotzdem in allen Feldzügen der letzten Jahre, sogar in unkultivierten Ländern verwandt hat, spricht am besten für den eminenten Wert der Röntgenmethode im Sanitätsdienst. Die zunehmende Verwendung von Automobilfahrzeugen im Heere, deren Motore sich gleichzeitig recht gut zum Betrieb von Dynamomaschinen eignen, dürfte zur weiteren Vermehrung und besseren Unterbringung der Röntgenstationen beitragen, und wir können uns nach unseren eigenen Erfahrungen wohl vorstellen, dass ein mittlerer Kraftwagen, der zugleich der schnelleren Beförderung des Sanitätspersonals dienen könnte, einen kompletten Röntgenapparat mit eigener Electricitätsquelle mit sich führt. Sobald die Automobilindustrie in der Herstellung von Sportwagen keine Befriedigung mehr findet, wird sie sich der Konstruktion wirklich praktischer Gebrauchswagen zuwenden und auch jene unsere Forderungen mit Leichtigkeit erfüllen.

3) Konstruktion und Handhabung.

Für die Zwecke des Krankenhauses wie des praktischen Arztes kommen hauptsächlich zwei Formen von Röntgeninstrumentarien in Betracht, die wir in umstehenden Abbildungen bringen, die Schalttafel (Fig. 1) und der nach unseren besonderen Angaben im Kasten eingebaute Apparat (Fig. 2); beide sind mit Dessauer's kleinem, aber für die Erzielung kritischer und intensiver Röntgenstrahlen durchaus leistungsfähigem Induktor und einem electrolytischen Unterbrecher ausgerüstet, dessen Vorzug in der kleinen flachen Unterbrecherblase an der Berührungsstelle von Anodenstift und Electrolyt beruht, wie in seiner Regulationsfähigkeit in weitesten Grenzen. Um die beim Unterbrechungsvorgang auftretende Lichterscheinung zu beseitigen, benutzen wir ein besonders präpariertes Hartgummigefäss für die Säurelösung, und stellen wir den Unterbrecher ausserhalb des Untersuchungszimmers auf, so ist jedes Geräusch bei der Röntgenuntersuchung aufgehoben, was bei ängstlichen Patienten immerhin von Vorteil ist. Die besondere Unterbrecher- und Induktorkonstruktion gestattet den Anschluss dieser Röntgenapparate an jede beliebige

Glühlampenfassung durch einen Steckkontakt, da nicht mehr Stromstärke zum Betrieb erforderlich ist, als eben die Zuleitungsschnur einer Glühlampe hergiebt; man ist also imstande, mit diesen Apparattypen am Bett und in der Wohnung des Verletzten selbst Auf-



Figur 1.

nahmen wie Durchleuchtungen vorzunehmen. Falls wir nicht den Eintritt der Dunkelheit für unsere Durchleuchtung abwarten können, ermöglicht auch ein für den Transport leicht zusammenlegbares Kryptoskop eine genügende Orientierung bei zugezogenen Vorhängen. Mit der Einführung des Koxins in der photographischen

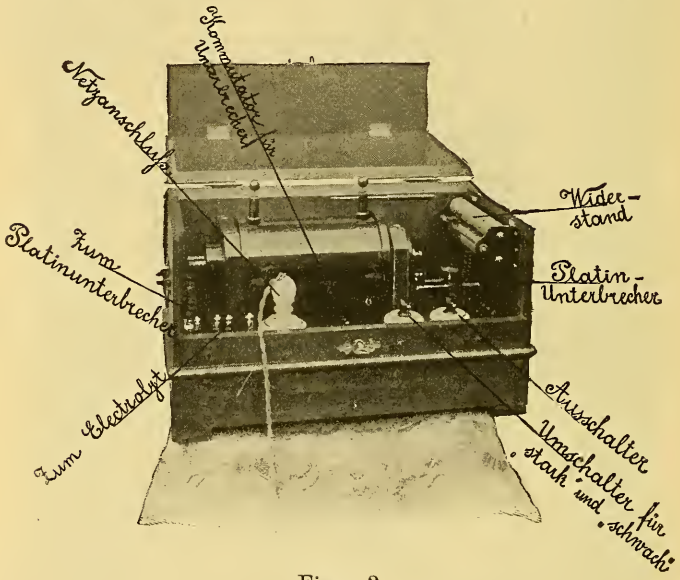
Praxis sind wir auch imstande, unsere Platten einfacherer Fälle sogleich in der Wohnung des Patienten selbst ohne Dunkelkammer bei Tages- oder künstlichem Licht schleierfrei zu entwickeln und so eine nicht ganz tadellose Platte eventuell durch eine bessere zu ersetzen.

Nach Herstellung der Verbindung mit der Starkstromleitung stellen wir an der Schalttafel den Zeiger der mit „Stark—Schwach“ markierten Dose auf „Schwach“, d. h. wir schalten gewisse Widerstände vor und schalten an der daneben befindlichen Dose „Ein—Aus“ den Strom in den Röntgenapparat ein; bei richtig eingestelltem Unterbrecher müssen wir sofort am Induktor überspringende Funken

Figur 2.

resp. ein Aufleuchten der Röhre erhalten, andernfalls haben wir durch Auf- und Abbewegen des Anodenstiftes am Unterbrecher die geeignete Stellung desselben zunächst herauszufinden. Durch Vorrücken des über den Dosen befindlichen und freiere Abstufungen der Stromzufuhr gestattenden Regulierhebels von links nach rechts können wir jede Röhre bis zu ihrem Optimum belasten; sollte die Röhre wegen ihrer Härte eine stärkere Belastung vertragen oder wollen wir mit einer mittelweichen Röhre auf kurze Zeit, etwa für Momentaufnahmen des Brustkorbes, eine grössere Lichtfülle erzielen, so gehen wir zunächst mit dem Regulierhebel nach links zurück, schalten an der einen Dose auf „Stark“ und gehen nun wieder mit dem Hebel nach rechts hin vor, bis wir den gewünschten Lichteffekt erreichen.

Wir wollen gleich hier bemerken, dass wir von den sogenannten Momentaufnahmen nicht viel halten; eigentlich tragen sie diese Bezeichnung zu Unrecht, denn es handelt sich doch zumeist nur um Aufnahmen mit möglichst kurzer, aber doch immerhin mehrere Sekunden dauernder Expositionszeit; wir wenden sie nur an bei unruhigen Kindern oder für Aufnahmen des Brustkorbs bei In- und Exspirationsstellung, wo man schon mit Rücksicht auf die durch Atembewegungen erzeugte Unruhe nur auf diese Weise, also mit möglichst kurzer Expositionszeit, wirklich gute Platten erhalten kann. Im übrigen fixieren wir unsere Objekte durch eine Anzahl

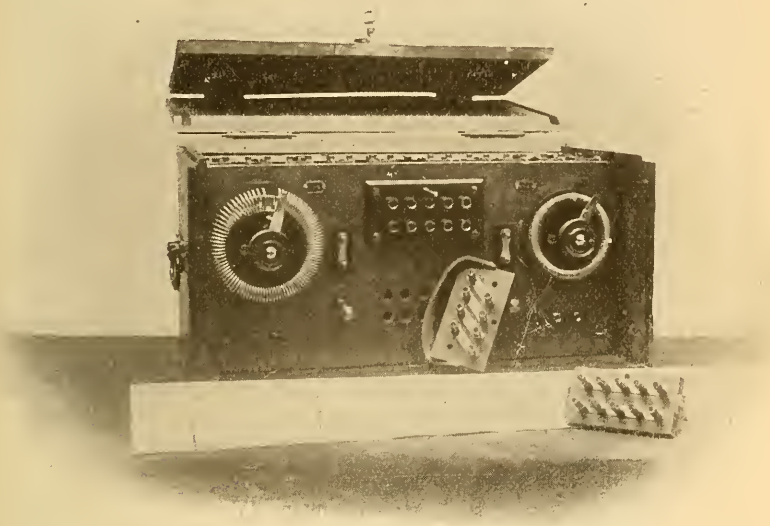


Figur 3.

Sandsäcke in genügender Weise und erhalten bei gut durchgearbeiteten Zeitaufnahmen stets weit bessere Platten, als mit jenen sogenannten Momentaufnahmen.

Die Ableitungsklemmen des nach unsern Angaben hergestellten transportablen Röntgenapparates in Kastenform (Fig. 3), der sowohl mit electrolytischem als mit Platin-Unterbrecher versehen, also mit Stark- und Schwachstrom zu betreiben ist, tragen genaue und deutliche Bezeichnungen: B = Batterie, U = electrolytischer Unterbrecher, ausserdem + und — Zeichen, und die Enden der Leitungsschnüre sind derart gestaltet, dass sie nur in die betreffenden Klemmen passen; die Schaltdosen sind in derselben Weise wie an der Schalttafel mit „Ein - Aus" und „Stark - Schwach" signiert, der feinere Regulierwiderstand liegt hier rechts im Kasten. Die Herstellung

einer unrichtigen Verbindung, sowie die Möglichkeit, durch falsche Handhabung eine Zerstörung irgend eines Teils am Apparat hervorzurufen, ist somit völlig ausgeschlossen. Da die Aussenmasse 54 (lang), 28 (tief), 31,5 cm (hoch) betragen und das Gewicht gering ist, kann der Apparat, wie die Abbildung zeigt, bequem von einem Mann unterm Arm transportiert werden; er ist so einfach in der Bedienung, dass seine Handhabung bei vorhandenem Starkstrom nach der bei der Schalttafel gegebenen Beschreibung ohne weiteres für Jeden verständlich ist. Uebung im Photographieren



Figur 4.

und Diagnosticieren macht selbstverständlich auch hier erst den Meister.

Der diesem Apparat beigegebene Akkumulator (Fig. 4), welcher ausserdem so gestaltet ist, dass er auch für vielfache andere medizinische Zwecke, zum Betrieb von Stirnlampe, Centrifuge, kleinem Massagemotor, Brenner und Schlingen brauchbar ist, enthält 10 Zellen aus säuredichtem Hartgummi, die trotz ihrer Kleinheit eine hohe Kapacität besitzen, und ausserdem verhindert eine besondere Anordnung im Innern der Zelle das Ausfallen der aktiven Masse, somit Kurzschlussbildung, gleichzeitig auch das Herausspritzen der Säure beim Transport.

Soll dieser Röntgenapparat da in Benutzung genommen werden,

wo kein direkter Anschluss vorhanden, so verbinden wir einfach die äussersten Ableitungsklemmen des Akkumulators mit jenen die Bezeichnung B (Batterie) tragenden Klemmen links im Induktorkasten (+ mit + und — mit —, wie es die besonders gestalteten Enden der Leitungsschnüre und Klemmen nicht anders zulassen!) und bethätigen somit gleichzeitig den rechts neben dem Transformator angebrachten Platin-Unterbrecher, welcher dank seiner Einrichtung mit Doppelkontakten bei einem Verbrauch von 2—3 Ampère in Bezug auf Leistungsfähigkeit, Einfachheit in der Bedienung, Zuverlässigkeit und Rapidität der Unterbrechungen unter seiner Gattung und bezüglich seiner praktischen Brauchbarkeit (wo kein Lichtkabel!) überhaupt unübertroffen dasteht. Dass er selbstverständlich nur eine, allerdings die beste, Aushilfe bei fehlendem direkten Anschluss und dass er mit der Leistung des electrolytischen Unterbrechers bei demselben Apparat nicht konkurrieren kann, ist selbstverständlich. Der bei Benutzung des Platin-Unterbrechers nötige Kondensator liegt nebst den gröberen Widerständen für Starkstromanschluss unterhalb des Induktors sorgfältig isoliert und sicher eingebaut in einem vollständig geschützten Kasten; drehbare Füsse, auf denen der ganze Apparat ruht, ermöglichen jederzeit die Herausnahme des Bodens und eine Revision der Widerstände wie des Kondensators. Platin-Unterbrecher und Kondensator werden aus- und jene Starkstromwiderstände gleichzeitig eingeschaltet durch eine einfache Stöpselvorrichtung mit Verbindungsschnur zur Lichtleitung; wir arbeiten dann mit electrolytischem Unterbrecher wie bei der Schalttafel.

Für den Platin-Unterbrecher verwenden wir mit Vorteil Röhren kleineren Volumens, für den electrolytischen Unterbrecher ist jede Röhre verwendbar, für forcierte Belastung am besten Wasserkühlröhren.

4) Resumé. Um unsere Ansicht über den transportablen Röntgenapparat hier noch einmal kurz zusammen zu fassen, so sehen wir in demselben, da er vielseitig, mit und ohne Lichtanschluss, verwendbar, genügend leicht für den Transport, einfach in der Bedienung bei höchster Leistungsfähigkeit und verhältnismässig geringem Anschaffungspreis, einen Hauptfaktor für die weitere Verbreitung der Röntgenmethode unter den praktischen Aerzten; wir betrachten ihn ferner als ein natürliches und durchaus notwendiges Entwicklungsprodukt einer hoch entwickelten, auf das wirklich Praktische bedachten Röntgen-Specialtechnik, im Gegensatz zu dem systematischen, unseren mehrjährigen Erfahrungen nach doch eigentlich vollkommen nutzlosen Komplikationen der bisherigen Röntgenapparate.

Da ferner der Wert der Röntgenmethode nach der therapeutischen Seite hin, wie für die innere Medizin und besonders für die

Chirurgie ganz ausser Zweifel, so können wir auch die in letzter Zeit vielfach in medizinischen Blättern diskutierte Frage: „Soll sich der praktische Arzt einen Röntgenapparat anschaffen oder nicht?“ unbedingt mit „Ja“ beantworten, zumal auch die Rentabilität eines

Figur 5.
Der transportable Apparat in Gebrauch.

modernen Röntgenapparates selbst in der Hand des praktischen Arztes keinem berechtigten Zweifel unterliegt. Dann erst werden wir auch beispielsweise in der Unfallpraxis dahin kommen, frische Verletzungen richtig zu erkennen und demgemäss mit steter Kontrole

durch den Röntgenapparat zu behandeln und die Röntgenuntersuchung wird aufhören, nur der prozentualen Rentenfestsetzung bei schlecht geheilten Frakturen wie bisher zu dienen. Die selbstverständlich notwendige Aneignung gewisser technischer Fertigkeiten, wozu übrigens jetzt schon überall Gelegenheit, dürfte doch kein unüberwindliches Hindernis für den Arzt sein, vorausgesetzt, dass nicht schon mit dem Abgang von der Universität sein Wissensdurst und Wissensdrang befriedigt ist. Auch in die Röntgenpraxis würden sich später in richtiger Weise Spezialisten und praktische Aerzte zu teilen haben; wie der praktische Arzt sich nicht für jeden Partus und jedes Panaritium der Hilfe eines spezialistischen Kollegen versichern, aber schwierigere gynäkologische und chirurgische Fälle den Spezialisten dieser Fächer von selbst überlassen wird, so werden auch den Röntgenspezialisten ausser der Unterweisung von Aerzten difficilere Untersuchungsobjekte stets gewahrt bleiben; das ist unseres Erachtens nach ein gesundes, weil berechtigtes Spezialistentum auch in der Röntgenpraxis.

Für die grosse Mehrzahl der Fälle aber wird und muss der praktische Arzt in dem Röntgenverfahren ein gutes diagnostisches und therapeutisches Hilfsmittel finden. Und wer immer Lust und Liebe, ein wenig Talent und ernsten Willen zum Lernen auch in vorgerückteren Jahren besitzt, soll sich dieses Hilfsmittels, das uns heute billig und gut angeboten wird, nicht entschlagen.

III.

MEDIZINISCHER TEIL.

1. Kapitel.

Das Röntgen-Verfahren in der inneren Medizin.

Von

Dr. Guido Holzknecht in Wien.

Einen umfangreichen Stoff, den heutigen Stand des internistischen Röntgen-Verfahrens, in den Rahmen eines kurzen Aufsatzes zwängend, rechne ich betreffs der Vollständigkeit auf ein grosses Mass von Nachsicht. Vom Zweifelhaften absehend, will ich das Gesicherte, praktisch Bedeutsame, kurz hervorheben.

Von den zwei Hauptabschnitten des genannten Gebietes betrifft der grössere die Erkrankungen der Brusteingeweide, der kleinere, den ich vorweg nehmen will, die bei allgemeinen „inneren" Erkrankungen vorkommenden pathologischen Prozesse des Skeletts, die Concremente und wenige diagnostische Anhaltspunkte bei Erkrankungen der Baucheingeweide, besonders des Magens, bei der Zwerchfellhernie, die den Bruchinhalt auf hellem Lungenhintergrunde zeigt (C. Hirsch), und des subphrenischen Gasabscesses mit dem Bilde einer hellen Gasblase zwischen Leber und Zwerchfell.

Die Concremente der Niere des Ureters und der Blase werden mit fortschreitender Technik immer häufiger gefunden. Bezüglich dieser ist die Anwendung der Compressionsblende*) und die richtige Wahl der Röhrenqualität, so dass die Details der

*) Siehe den Abschnitt Blendenaufnahmen von Dr. Wiesner.

Wirbel, insbesondere die Querfortsätze im Bilde erscheinen (Albers-Schönberg), und die Vermeidung der respiratorischen Verschiebung der Niere und Blase während der Exposition (respiratorische Stillstandsaufnahme) nothwendig. Die chemische Zusammensetzung dieser Steine spielt dabei nächst ihrer Grösse eine wichtige Rolle. Dagegen muss der verbreiteten Meinung entgegengetreten werden, dass Gallensteine radiographisch häufig nachgewiesen werden. Es existiert kein einziger gesicherter Fall.*) Die häufigen, spezifisch so leichten Cholestearinsteine lassen nicht einmal bei einer zu erhoffenden Verbesserung der Technik einen Gewinn erwarten und die schweren Sorten sind äusserst selten. Bei der grossen Verschieblichkeit der Leber und Gallenblase sind jedenfalls alle Versuche wertlos, welche ohne Aufnahme in respiratorischen Stillstand Bilder von Gallensteinen erzielen wollen.

Bei den mit Skelettveränderungen einhergehenden inneren Erkrankungen sind die radioskopischen Merkmale meist zart und betreffen oft blos die Bälkchenstruktur der Knochen, weshalb auch hier eine gute Technik die Grundlage der klinischen Verwertung ist.

Von ihnen sind die kelchförmigen Diaphysenenden bei Rachhitis am häufigsten zu sehen. Die osteomalicische Knochenveränderung mit ihrer auf grosse Abschnitte des Skeletts verbreiteten Atrophie, den papierdünnen Compacten und den rareficierten Spongiosen fand in der Litteratur mehrfache Behandlung. Am frühesten wurden die hellen, Cysten gleichenden, in die Epiphysen und auch Diaphysen eingelagerten Uratmassen bei echter Gicht erkannt.

Von den vielgestaltigen Knochenveränderungen bei Lues sind am besten bekannt die mächtigen hyperostotischen Veränderungen der Compacta bei Periostitis luetica und die eigentümliche, die Compacta in eine spongiosaartige, schwammige Knochenmasse auflösende luetische Ostitis, ferner die Osteochondritis heredosyphilitica mit ihren zackigen Knochenknorpelgrenzen, endlich das Gumma mit seinem circumscripten oberflächlichen Substanzverlust des Knochens.

In vortrefflichen anatomisch-radiologischen Arbeiten sind die zarten Veränderungen der Gelenkenden bei chronischer Arthritis,

*) Anm. d. Herausgeber: Uns gelang in mehreren Fällen der Nachweis.

die Verschwommenheit der Structur der Phalangenköpfchen, die Abschleifung des Gelenkknorpels (Verschmälerung des hellen Gelenksspaltes) und die Zerstörungen und Umformungen derselben in höheren Graden dargestellt. Diese führen bei der Arthritis deformans zu mächtigen Auftreibungen aus lockerer Spongiosa mit Abbröckelung der Spitzen und Ecken, Verknöcherung der Kapseln und Bänder. Sehr charakteristische Röntgenbefunde giebt die gonorrhoische Arthritis mit ihrer früh auftretenden hochgradigen acuten excentrischen Knochenatrophie.

Als ein Gegenstand allgemeinen Interesses haben die neurotischen Arthropathieen früh die Beachtung auch der Radiologen gefunden. Geringe Grade zeigen im Röntgen-Bilde ihre zu schweren Deformationen im Sinne der Belastung mit oft maximaler Excavation der Pfannen führenden Veränderungen und die functionelle Ossification der Kapsel und ihrer Verstärkungen; höhere Grade die vollständige Consumption der Gelenkenden und angrenzenden Diaphysenabschnitte. Nur kurz erwähnt seien ferner die im Sinne atrophischer und aplastischer Vorgänge zu deutenden Bilder des Skeletts bei manchen mit Motilitätsstörungen einhergehenden Erkrankungen des Nervensystems, excentrische und concentrische Knochenatrophie (Sudeck, Kienböck, Nonne).

Der zweite grössere Hauptabschnitt ist die Untersuchung des Thorax *), welche durch das Ueberwiegen der subtil ausgestalteten Schirmuntersuchung über die graphische gekennzeichnet ist.**)

Für alle das Mediastinum betreffenden Fragen kann die radiographische Aufnahme vollständig entbehrt werden. Diese massiven Gebilde erscheinen am Schirm vollkommen deutlich, ihre Bilder gewinnen durch die Radiographie nichts, sie verlieren nur Randschärfe durch die unvermeidliche Pulsation. Dagegen übertrifft das Radiogramm der Lungen und ihrer Verdichtungsprozesse das Schirmbild derselben bei weitem, vorausgesetzt, dass die Aufnahme in Athemstillstand (Hoffmann) gemacht wird und insbesondere dann, wenn die Bleiblende verwendet wird.

---

*) Ueber das Folgende findet sich Ausführliches in Bd. VI. des bei Gräfe & Sillem erschienenen radiologischen Sammelwerkes (Holzknecht, die radiologische Diagnostik der Erkrankungen der Thoraxeingeweide. 230 S. 8 Tfl.)

**) Anm. d. Herausgeber: Deren Ausbau in dieser Beziehung hauptsächlich das Verdienst Holzknechts ist.

Die Durchleuchtung wird zweckmässig mit etwas härterer Röhre (Beckenröhre) und stets mit der Bleiblende zwischen Rohr und Patient vorgenommen. Letztere sei schwerlos aufgehängt, ebenso der Leuchtschirm. Das fleissige Nachzeichnen der Schirmbilder auf eingelegten Glasplatten ist didaktisch empfehlenswert. Bequem verstellbarer Röhrenwandarm. Aufnahme am besten im Sitzen in einem für alle Richtungen geeigneten, auf die Stabilität des Objektes bedachtnehmenden Aufnahmsstuhl protrahierter respiratorischer Stillstand nach längerem tiefen Athem (Apnoë). Aufnahme mit Wehnelt-Unterbrecher in $^1/_4$—$^1/_2$' und kürzer. Betrachtung der entwickelten Platten in diffussem Licht (Negativbühnen).*)

Die Teile der normalen sagittalen Thoraxbilder (der Mittelschatten und die beiden Lungenfelder), der frontalen (Herz-, Retrocardial- und Retrosternalfeld) und der ersten schrägen Richtung (Wirbelsäule, Herz- und Gesässschatten, Lungenfelder und helles Mittelfeld) nehmen mit jeder neuen Röhrenstellung (Seiten-, Hoch- und Nahestellung) andere Formen an, welche zunächst morphologisch studiert und dann anatomisch gedeutet werden mussten. Desgleichen die Bewegungserscheinungen in denselben. Hierauf konnte an die Beurteilung pathologischer Bilder gegangen werden.

Das verticale helle Band im Bilde der Hals- und oberen Brustwirbelsäule ist die Schattenausparung der Trachea. Es zeigt durch seine mannigfache abnorme Lage die Dislocation der Luftröhre an. Ihre Compression kann nicht erkannt werden. Wird die aus Larynx, Trachea und Bronchien bestehende Kette gespannt (Aneurysma, Tumor, Zwerchfelltiefstand), so entsteht, manchmal zugleich mit Cardarellis Symptom, Hebung der genannten Gebilde, respective der normalen Aorta und selbst des Herzens beim Schlucken. Bei raschem einseitigen Capacitätsverlust einer Lunge, also besonders bei Bronchostenose, doch auch aus anderen Gründen, schiebt sich als Compensation inspiratorisch das Mediastinum in die kranke Thoraxseite (Jakobson, Holzknecht).

In den Lungen ist von einer gewissen Grösse des Herdes an (je nach der Lage Nuss- bis Erbsengrösse) alles wahrnehmbar, was an Stelle des durchgängigen Lungengewebes durch Verdrängung

*) Vergl. Arbeit von Kraft und Anhang in diesem Buche. Anm. d. Herausg.

oder Substitution ein dichteres, compacteres Gewebe setzt, also pneumonische, gangränöse, eitrige, tuberculöse Infiltration, Infarcierung, Neubildung, dann Schwartenbildung der Pleura und pleurale Ergüsse, ferner Alles, was an Stelle des normalen rareficiertes Lungengewebe (Emphysem) oder blosses Gas setzt, also Cavernen, Pneumothorax.

Die Lobärpneumonie giebt typische, geometrisch aus der Lappenform ableitbare Bilder, welche nicht selten auch von der Tuberculose der Lungen imitiert werden. Wegen der Schräglage der Lappengrenzen täuscht die lobäre Infiltration gewisser Lappen grössere Herde vor. Infarcte unterscheiden sich fast nur durch ihre Lieblingslokalisation (sorgfältiges Absuchen der Lungenränder mittelst extremer Röhrenstellungen) von anderen Verdichtungsherden, unter denen Gangrän und Abscess wegen ihrer chirurgischen Therapie der exacten radiologischen Lokalisation bedürfen. Die tuberkulöse Infiltration setzt, je nach der anatomischen Form, klein- und grossherdige Schattenmassen von verschiedener Ausdehnung.

Die einzelnen Herde der tuberkulösen Infiltration beeinflussen gegenseitig ihre Bilder in mannigfacher Weise und lassen, ganz abgesehen von der Lage im Thorax, die auf das Aussehen der Herdschatten Einfluss hat, bisweilen differente, progredienten und schrumpfenden Herden zukommende Formen erkennen. Im ganzen erhält man in vorgeschrittenen Fällen (und zahlreiche „Spitzenkatarrhe“ fallen in diese Rubrik) radiologisch das bei weitem beste Uebersichtsbild der bestehenden Ausdehnung des Prozesses, ein sinnfälliges Bild der verlorenen und restierenden Lungenkapazität. Bei Phthisis incipiens im klinischen Sinne, wo minimale und umfangreiche junge und alte Herde unter dem Bilde des Spitzenkatarrhs verlaufen, differenziert die Methode in einer den anatomischen Verhältnissen näherstehenden Art, indem sie die wirkliche, anatomische Phthisis incipiens übersieht, die übrigen Formen nach Grösse und Art der Herde unterscheidet. Viel kleinere Cavernen als klinisch, schon haselnussgrosse, können, günstig gelegen, radiologisch erkannt werden. Ein dunkler, einen hellen Kreis einschliessender Schattenring, dessen innerer Rand sich scharf von der centralen Scheibe abhebt, während der äussere allmählich abklingt, ist das charakteristische Bild der entleerten Destructionscaverne. Veränderungen der Schattenverhältnisse vor und nach

Expectoration bilden ein weiteres Cavernensymptom, das auch anderen, mit den Bronchien kommunizierenden Höhlen eignet. Unscharf begrenzte, helle Stellen im Infiltratschatten sind mehrdeutig. Die dichten Schatten der Ergüsse erlauben keine Unterscheidung ihrer Natur (Exsudat — Transsudat — Blut — Eiter). Ihre Beweglichkeit ist, seltene Fälle ausgenommen, gering; kleine müssen sorgfältig mittelst extremer Röhrenstellungen und anderer Mittel, besonders in den basalen Rändern aufgesucht werden. Der mit Pneumothorax kombinierte Erguss zeichnet sich durch seine unveränderliche Horizontalität aus. Die anderen kehren in die Horizontale zurück, er bleibt in derselben und macht nur, wenn er erschüttert wird, Bewegungen: 1. Sichtbare Succussio Hippokratis, 2. rhythmische Undulation synchron mit dem Herzstosse, ferner paradoxe Respiration (Kienböck, Bouchard, inspiratorische Hebung, expiratorische Senkung). Ueber dem horizontalen Niveau des Ergusses teilt sich der überaus helle, gasgefüllte Pleuraraum und der dunkle, kollabierte Lungenstumpf, dessen Grösse ein Urteil über die Ausdehnung seiner Infiltration erlaubt, in den Rest des Lungenfeldes.

Von der abnormen Helligkeit abgesehen, besitzt die Lungenblähung noch weitere radiologische Symptome: die Vergrösserung des Lungenfeldes nach unten, die mangelhafte oder fehlende basale Aufhellung des Lungenfeldes (ein normalerweise höchst auffallendes Phänomen), mangelhaftes „sichtbares Litten'sches Zeichen", „Steilstellung des Herzens" und Schlinghebung des Aortenbogens.

Der normale, unten breite, oben schmale Mittelschatten wird durch Herz und Gefässe gebildet. Er begrenzt sich (Weinberger) links durch drei Bogen (Aorta, linker Vorhof und linke Kammer), rechts durch zwei sehr flache Bogen (Cava descendens, rechter Vorhof). Die Schattenränder zeigen entsprechende pulsatorische Bewegungen. Im linken schrägen Durchmesser gesehen, tritt die Wirbelsäule aus dem Mittelschatten heraus und dieser zeigt nun die Herzsilhouette und als obere Fortsetzung derselben ein stumpfendendes, schmales Band, das durch die aufeinander projizierten Schatten der Aorta ascendens und descendens und des vorderen und hinteren Bogenanteiles gebildet wird. Die Grössenveränderungen der einzelnen Anteile haben mannigfache Formveränderungen des Mittelschattens zur Folge, die dann typisch sind, wenn sie gewisse Teile combinieren. Allgemeine Stauung bewirkt ausgleichende Verbreiterung, Dilatation des linken Ventrikels, eine abnorm hohe,

breite Figur mit plumper Herzspitze etc. Gemessen wird die „basale Herzbreite“ approximativ durch grosse Entfernung von der Röhre (praktisch zureichend, weil die Fehler innerhalb der physiologischen Schwankungen liegen) exakt (zur längst wünschenswerten Lösung einiger Fragen von vorläufig blos theoretischer Bedeutung) am genauesten mittelst des Orthodiagraphen. Den Körpergrössen 125, 150 und 175 cm entsprechen normalerweise 9, 11 und 12 cm basale Herzbreite (Levy-Dorn). Die Lungenblähung ist nicht nur kein Hindernis für die radiologische Erkennung der Herzgrösse, sie verbessert sogar die Bildverhältnisse. Dislocationen des Herzens, meist mit Drehung einhergehend, sind begreiflicherweise in die Augen springend, Situs inversus wegen der Differenz des rechten und linken Schattenrandes leicht zu erkennen, desgleichen der damit verbundene Situs inversus aortae. Bei den einzelnen Klappenfehlern treten ausser entsprechenden Grössenveränderungen der Herzteile abnorme Bewegungserscheinungen auf. Bei Aorteninsufficienz grosser Aortenpuls (Aneurysmenschatten zeigen selbst bei bestehender Aorteninsufficienz kleinen Puls; grossschlägiger Randpuls spricht gegen Aneurysma!). Bei Mitralinsufficienz positiver Puls des linken Vorhofes, bei Tricuspidal-Insufficienz positiver Puls des rechten Vorhofes und der Vena cava descendens. Grössere Aneurysmen der Brustaorta, auch wenn sie physikalisch noch nicht zugänglich sind, machen diagnostisch keine erheblichen Schwierigkeiten, wenn man sich daran hält, dass die scharfrandigen, gleichmässig gerundeten Säcke an nachweislich einheitlichen Teilen, also auf derselben Seite des Mittelschattens, herzsystolische, mehrseitige, schwache Pulsation zeigen und in der ersten schrägen Durchleuchtungsrichtung nicht zu einem normalen oder wenig verbreiterten Aortenbande (siehe oben) zusammenschrumpfen. In letzterem Falle gehört die Schattenmasse nicht einem Aneurysma, sondern der allgemein oder spindelig gedehnten Aorta an. Eine Reihe weiterer Anhaltspunkte schützt vor der Verwechslung dieser bei Myodegeneratio, Arteriosklerose, Aorteninsufficienz, Mb. Basedowii, Chlorose etc. häufigen Dehnung und der Verlagerung der Aorta mit dem Aneurysma, von dem sie prognostisch so different ist. Kleine, beginnende Aneurysmen zeigen in sagittaler Richtung oft keine abnormen Bilder, in der ersten schrägen Richtung fast stets typische kappenförmige (A. ascendens) und keulenförmige (Bogen) Verbildungen des „Aortenbandes“ (s. oben). Tief sitzende

Aneurysmen der Aorta descendens bleiben diagnostisch mitunter unentschieden. Die Lokalisation des Ausgangspunktes der Aneurysmen ist durch die Radiologie wesentlich gefördert worden, und zwar hauptsächlich dadurch, dass man die ganzen Säcke in vollem Umfange übersieht, während die Perkussion oft ganz unmassgebliche Sackanteile lokalisiert und dass daher die wirkliche Lage der Säcke im Thorax für ihren Ausgangspunkt häufiger und besser verwertet werden kann.

Dass Aneurysmen der Bauchaorta nicht gesehen werden können, ist begreiflich, wenn man bedenkt, dass die Baucheingeweide ebenso dunkel erscheinen wie Aneurysmen und andere Tumoren. Der dunkle Tumor hebt sich von den dunklen Baucheingeweiden nicht, von den hellerscheinenden Lungen jedoch sehr gut ab.

Vom Mediastinum ausgehende Tumoren erscheinen schon bei geringer Grösse leicht erkennbar. Sie sind je nach ihrer Entstehungsweise in ihren Schattenrändern teils einheitlich, teils zusammengesetzt, mehr oder minder confluierend und zeigen selten fortgeleitete, einseitige, gleichgerichtete Pulsation. Der Oesophagus, normalerweise unsichtbar, kann durch Einführung schwerer Sonden in seiner Lage sichtbar gemacht werden, und zwar immer am besten in der ersten schrägen Durchleuchtungsrichtung. Viel bequemer, ungemein schonungsvoll und leicht ausführbar ist jedoch die Beobachtung der Bewegung sichtbarer Bissen durch den Oesophagus (Bismuthum subnitricum in Oblate). Sie giebt nicht nur über seinen Verlauf (Dislocationen ohne Schlingbeschwerden sind viel häufiger, als man klinisch zu berücksichtigen gewohnt ist, und oft die ersten Zeichen mediastinaler Tumorbildungen) Aufschluss, sondern stellt, da die Locomotion der Boli die einzige Funktion des Oesophagus ist, eine objektive Funktionsprüfung dar, die es bisher nicht gab. Bei den verschiedenen Störungen der Wegsamkeit und motorischen Kraft des Oesophagus passiert der Bissen in mannigfacher, teils typischer (Compression, Stenose), teils noch eingehende Studien erfordernder Art die Speiseröhre. Bleibt er stecken, so erzeugt nachgetrunkene Wismuthschüttelmixtur einen sichtbaren Ausguss des darüberliegenden normalen oder dilatierten Oesophagus.

Gewisse Kombinationen der Wismuth- mit der Sondenmethode erlauben, wie Blum trefflich gezeigt hat, die Diagnose des Oesophagusvertikels.

Die radiologische Untersuchung der Baucheingeweide ist, von Fremdkörpern und Harnconcrementen abgesehen, noch nicht aus dem Versuchsstadium getreten. Das ziemlich gleichmässig dunkle Abdomen lässt keine Unterscheidungen zu, wenn nicht fremde Körper von besonders hohem Atomgewicht (Metallsonden, Wismuth in Kapseln, bei Kindern auch ohne Kapseln) oder fremde Körper von besonders niedrigem Atomgewicht (Luft, Kohlensäure der Brausemischung) künstlich per os vel anum eingebracht werden.

Ueber Ausdehnung und Lage des Magens kann so ein ungefähres Urteil gewonnen werden: der in das rechte Hypogastrium sich wendende Schatten der Oesophagus-Sonde und die unter dem rechten Zwerchfell auftretende Gasblase bei Verwendung einer Brausemischung entscheidet den Situs inversus der Bauchorgane, die über das Zwerchfell tretende Oesophagus-Sonde die Zwerchfellhernie.

2. Kapitel.

Die radiographische Aufnahmetechnik der Extremitäten.

Von

Dr. Karl Mohilla.

Aus dem Röntgenlaboratorium des K. K. allg. Krankenhauses in Wien. (Dr. P. Holzknecht.)

Aus einem grossen Materiale ermittelt, beträgt die Zahl der Extremitätenaufnahmen $^5/_6$ aller Röntgenaufnahmen. Da nun ihre Aufnahmetechnik manches Eigenartige, von den Rumpfaufnahmen Abweichende darbietet, erscheint es zweckmässig, sie gesondert zu behandeln.

Allgemeiner Teil.

Als Unterlage für Extremitätenaufnahmen kann im Allgemeinen ein mit Rosshaar dünn gepolsterter Tisch (Aufnahmetisch) in Sofaform von entsprechender Grösse (2,50 × 1 m) verwendet werden, ohne dass man hierbei ein Zerbrechen der Platten zu befürchten hat. Mit Ausnahme der Schulteraufnahmen, welche am besten in dem später beschriebenen Aufnahmestuhl vorgenommen werden, wird für die Extremitäten der genannte Aufnahmetisch verwendet, und zwar werden die einzelnen Abschnitte der oberen Extremität am Untersuchungstische sitzend, jene der unteren Extremität auf demselben liegend aufgenommen. Das Nähere hierüber ist Sache des speziellen Theiles.

Es läge bei der radiographischen Aufnahme der Extremitäten der Gedanke nahe, Films zu verwenden, um der Configuration der oft winkelig gegeneinander fixierten Extremitätenabschnitte folgen zu können, doch haben sich dieselben in der Praxis wegen der sich hierbei ergebenden unberechenbaren, in manchen Fällen geradezu scherzhaften Verzerrung der Skelettteile nicht bewährt, und werden daher behufs Radiographie der Extremitäten fast ausschliesslich plane Gelatinetrockenplatten aus Glas benützt und bei winkelig fixierten Gelenken besondere Kunstgriffe angewendet. Es findet wohl auch bei der Projektion der Objekte auf die ebene Platte eine Verzerrung statt, dieselbe bewegt sich aber in kontrollierbaren Grenzen, und es entsprechen die entstehenden Bilder, wenngleich keineswegs dem Originale, so doch vollkommen dem Zwecke einer genauen Orientierung.

Bezüglich der Wahl der Plattenformate muss gerade bei den Extremitätenaufnahmen auf die noch recht wenig gebrauchten Längsformen hingewiesen werden*), worüber Holzknecht (Kienböck) sich in der zitierten Arbeit wie folgt ausspricht: „Es ist leicht einzusehen, dass praktisch — sparende Anpassung an die Objektgrösse — viele Formate (etwa $1^1/_2$ Dutzend) notwendig sind. nicht nur die üblichen (aus der Cameraphotographie übernommenen): $^{40}/_{50}$, $^{30}/_{40}$, $^{23}/_{34}$, $^{24}/_{30}$, $^{18}/_{24}$, $^{13}/_{18}$ und die kleineren: $^{9}/_{12}$, $^{6}/_{9}$, $^{5}/_{7}$, sondern auch die durch Längsspaltung der ersteren erhältlichen: $^{20}/_{50}$, $^{15}/_{40}$, $^{14}/_{34}$, $^{12}/_{30}$, $^{9}/_{24}$, $^{6\cdot5}/_{18}$ und $^{4\cdot5}/_{12}$, wie sie heute von zwei Fabriken (Schleussner-Frankfurt und Siebert-Wien**) einzeln gepackt geliefert werden. Viel mehr als die Hälfte der Röntgenaufnahmen sind von Extremitäten herzustellen, denen aber Längsformate entsprechen, will man die „luftschwarzen" Randteile bei Aufnahme grosser Abschnitte sparen. Uebrigens sind auch bei Rumpfaufnahmen, wo man nur bestimmte Abschnitte untersuchen will (z. B. Schultern, Wirbelsäule, Sternum, Lungenspitzen, Hüftgelenk, Nieren rechts und links verglichen), querunterlegte Längsformate willkommen.

Nicht allzu kleine Formate empfehlen wir, sondern eher grössere, um nicht nachträglich zu erfahren, dass man bei der Auf-

*) Holzknecht und Kienböck, Die Einrichtung des Plattenarchivs. Fortschritte a. d. G. d. Röntgenstrahlen. Bd. V.

**) Von der letzteren naturgemäss zu halben Preisen, von der ersteren leider fast zum vollen Preise der ungeteilten Platten.

nahme nicht alles Kranke auf die Platte gebracht hat, die Formate sollen sich aber dem Objekte anpassen.

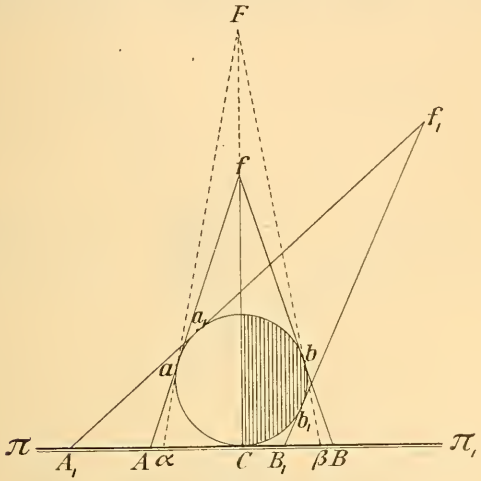
Eine Kassette für die Platten, sowie Verdunkelung des Zimmers beim Herausnehmen der Platten, wie es vielfach noch geübt wird, erscheint überflüssig, wofern die Platten in einer doppelten Lage von dickem, schwarzem Papier, welches nur für die Röntgenstrahlen, nicht aber für Tages- und künstliches Licht durchlässig ist, verpackt verwendet werden. Die auf diese Weise geschützte Platte wird also in ihrer Verpackung, und zwar erst nach entsprechender Lagerung, der radiographisch aufzunehmenden Extremität untergeschoben, die Röhre der gewünschten Projektion entsprechend aufgestellt und dann die Belichtung begonnen.

Was nun die Lagerung des Körperteiles betrifft, so gilt der Grundsatz, denselben in eine für den Patienten möglichst bequeme, leicht einzuhaltende Ruhestellung in solcher Weise zu bringen, dass die in Betracht kommenden Skelettteile möglichst deutlich am Negativ zum Ausdrucke kommen. Es ist unbedingt notwendig, sich vorerst das auf der Platte entstehende Bild im Geiste vorzustellen und durch Visieren mit dem Auge in der anzuwendenden Focushöhe sich davon zu überzeugen, ob auch wirklich alle aufzunehmenden Extremitätenabschnitte in der gewünschten Projektion auf der Platte ihre Aufnahme finden. Da diejenigen Skelettteile, welche der Platte am nächsten liegen, auf derselben auch am deutlichsten zum Ausdrucke kommen (Fig. 1 Punkt b, deutlicher als Punkt a), so soll womöglich die erkrankte Seite der Platte aufliegen.

Vorbedingung einer tadellosen Aufnahme ist es weiter, für die absolute Ruhestellung des Körperteiles zu sorgen, und zwar in der Weise, dass man sich hierbei von der Intelligenz und dem guten Willen des Patienten möglichst unabhängig macht. Dieses Ziel wird erreicht, indem man die betreffende Extremität in solche Lagen bringt, welche an sich eine bedeutende Stabilität besitzen, indem dabei wenigstens 3 feste Punkte der Körperoberfläche, welche nicht in einer Geraden liegen, die Unterlage berühren. Ausserdem wird jede gelagerte Extremität mit Sandsäcken fixiert und endlich niemals unterlassen, den Patienten unter Hinweis aut die Schmerzlosigkeit des Verfahrens zu peinlicher Ruhe zu ermahnen.

Der zu radiographierende Körperteil soll im allgemeinen von jenem senkrechten Strahlenbündel getroffen werden, welches die kürzeste Verbindung zwischen Focus (Antikathode) und Platte her-

stellt. Wir nennen im Anschluss an die Nomenclatur Jedliczka's*), von der uns übrigens vielfach abzugehen notwendig erscheint, jene Art der Lampeneinstellung, bei welcher die Platte (sowie die zu ihr parallele Durchschnittsebene des Körperteiles) von den Strahlen senkrecht getroffen wird, die zentrale (Fig, 1f und Fig. 2f) im Gegensatze zur excentrischen Lampenstellung, bei welcher die den wichtigsten Punkt des Objektes abbildenden Strahlen die Platte in schiefer Richtung treffen (Fig. 1f,). Diese excentrische Lampenstellung kann in jenen Fällen, wo Extremitäten- oder Platten-



Figur 1.

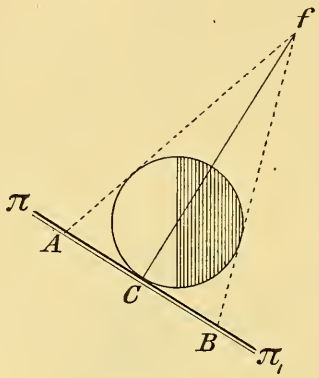
Centrale (F) und excentrische (f) Lampenstellung.
$f\ f,\ F$ = Lampenform, $\pi\ \pi,$ = Platte.

verschiebung schwierig durchführbar ist, und wo dennoch gewisse Contouren (z. B. Gelenkslinien) evident gemacht werden sollen, von Wichtigkeit sein, nur muss man sich dabei gegenwärtig halten, dass die der Platte entfernter gelegene, von den Strahlen tangierte Contouren verzerrt erscheinen wird (Fig. 1 CA, CB), ein Umstand, der sich übrigens bei dem geringen Volumen der Extremitäten umsoweniger geltend machen wird, je weiter man die Röhre von der Platte entfernt. Auch der Unterschied zweier

*) Dr. Jedliczka, Fortschr. a. d. Geb. d. Röntgenstrahlen. Ergänzungsheft 4.

diametral entgegengesetzter Aufnahmerichtungen ist bei grosser Lampendifferenz aus dem gleichen Grunde kein erheblicher.

Es erscheint nun behufs rascher Orientierung für die Aufnahmetechnik im allgemeinen, speziell aber auch für die der Extremitäten sehr erwünscht, für die Strahlenrichtung eine einheitliche radiologische Nomenclatur aufzustellen, d. h. Bezeichnungen zu wählen, aus welchen die Aufnahmerichtung ohne weiteres entnommen werden kann, indem in der Bezeichnung die Reihenfolge der von den Strahlen durchdrungenen Körpergegenden enthalten ist (z. B. ventro dorsal: Röhre vor dem Bauche).



Figur 2.

Centrale Lampenstellung nach Verschiebung von Platte u. Lampe (*f*).

Wir benennen somit bei Aufnahmen am Rumpfe eine Strahlenrichtung, welche parallel zur Körperachse (bei stehendem Körper senkrecht zur Horizontalebene) verläuft:

Von oben nach unten: cranio caûdal,

umgekehrt: caûdo cranial.

Aufnahmen in dieser Richtung werden am Stamme nur selten (Kiefer), an den Extremitäten nie gemacht, hingegen kann diese Benennung zur Bezeichnung jener excentrischen Aufnahmen verwendet werden, bei welchen die Lampe in axialer Richtung, d. h. cranial oder caûdal verschoben wird.

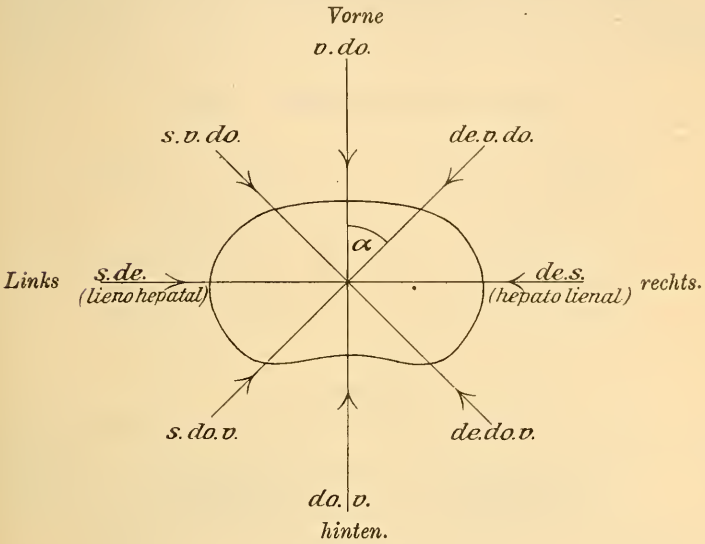
Wir bezeichnen weiter:

Die sagittale, senkrecht zur Frontalebene stehende Strahlenrichtung:

Von vorn nach rückwärts: ventrodorsal (Fig. 3 v. do.).
Umgekehrt: dorsoventral (Fig. 3 do. v.).

Die frontale, senkrecht zur Sagittalebene stehende Strahlenrichtung:

Von rechts nach links: sinistrodextral (lienohepatal) Fig. 3 s de.
Umgekehrt: dextrosinistral (hepatolienal) Fig. 3 de s.



Figur 3.

Bezeichnung des Strahlenganges am Rumpfe.

v. do.: ventrodorsal.	*do. v.*: dorsoventral.
s. de.: sinistrodextral.	*de. s.*: dextrosinistral.
s. v. do.: sinistroventrodorsal.	*de. do. v.*: dextrodorsoventral.
de. v. do.: dextrovento dorsal.	*s. do. v.*: sinistrodorsoventral.

Die schiefen Richtungen sind bestimmt durch den Winkel (Fig. 3 ∢ α), welchen sie mit der Ventrodorsalen einschliessen, und heissen:

Von rechts vorn nach links hinten: dextroventrodorsal (Fig. 3 de. v. do.).
Umgekehrt: sinistrodorsoventral (Fig. 3 s. do. v.).
Von links vorne nach rechts hinten: sinistroventrodorsal (s. v.do.).
Umgekehrt: dextrodorsoventral (de. do. v.).

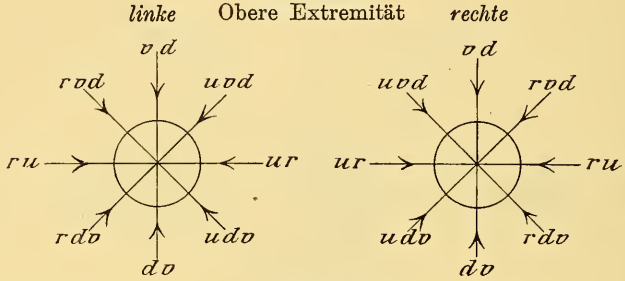
Für die Extremitäten empfehlen sich einige kleine Abänderungen, und zwar für die obere Extremität, dieselbe herabhängend in Supinationsstellung gedacht (vgl. Fig. 4):

Von vorn nach rückwärts: ventrodorsal (v. d.).

Umgekehrt: dorsoventral (d. v.).

Seitliche Richtung: radioulnar (r. u.) und ulnoradial (u. r.).

Schiefe Richtung: ulnoventrodorsal (u. v. d.) und radiodorsoventral (r. do. v.), radioventrodorsal (r. v. d.) und ulnodorsoventral (u. d. v.).



Figur 4.

Linke und rechte Obere Extremität, Bezeichnung der Strahlenrichtung.

v d: ventrodorsal.
r u: radioulnar.
r v d: radioventrodorsal.
u v d: ulnoventrodorsal.
d v: dorsoventral.
u r: ulnoradial.
u d v: ulnodorsoventral.
r d v: radio dorsoventral.

Dasselbe gilt für die ausgestreckte untere Extremität mit nach vorn gerichteter Patella, nur benennen wir die:

Seitliche Richtung: fibulotibial und tibiofibular (s. Fig. 5).

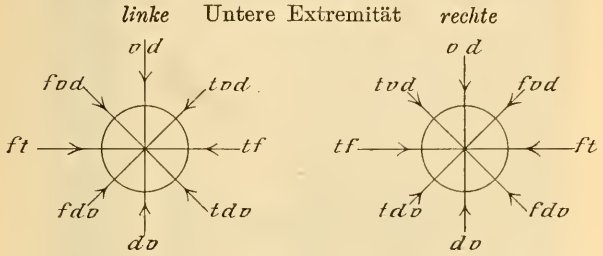
Ausserdem sprechen wir bei der Hand anstatt von der dorsoventralen und ventrodorsalen Richtung besser von der dorsopalmaren und palmodorsalen, beim Fusse von der dorsoplantaren und plantodorsalen.

Abgesehen von den seitlichen Lampenverschiebungen kommt für die excentrischen Aufnahmen an den Extremitäten, entsprechend der cranialen und caudalen des Rumpfes, noch die proximale und distale Lampenverschiebung in Betracht, und dürfte es nach dem Vorhergesagten nicht schwer fallen, sich die übrigen Bezeichnungen für die Lampeneinstellung bei kombinierten excentrischen Aufnahmen abzuleiten.

Bezüglich der Röhrenwahl wird auf Teil I und II, Kap. 1 verwiesen.

Die stärkeren Teile der Extremitäten, Ober-, Unterschenkel, Knie, Schulter, werden mit Vorteil unter Anwendung von Bleiblenden radiographiert. Solche sind sogar unumgänglich notwendig, um feinere Details, Knochenstruktur bei stärkeren Extremitätenabschnitten regelmässig zu erhalten.

Das betreffende Objekt wird mit einem 2 mm starken Bleibleche (sehr zweckmässig sind die mit Kautschuk überzogenen Blendenplatten nach Dr. Holzknecht) bedeckt, welches demselben ent-



Figur 5.

t f: tibofibular. *f t*: fibulotibial.
v d: ventrodorsal. *d v*: dorsoventral.

weder direkt aufliegt, oder handbreit über demselben durch seitliche Stützen, z. B. leere Plattenschachteln, gehalten wird.

Diese Bleiblende besitzt einen Ausschnitt von möglichst geringer Grösse, nicht über 10 cm im grösseren Durchmesser, und von entsprechender Form (kreisrund, oval etc.).

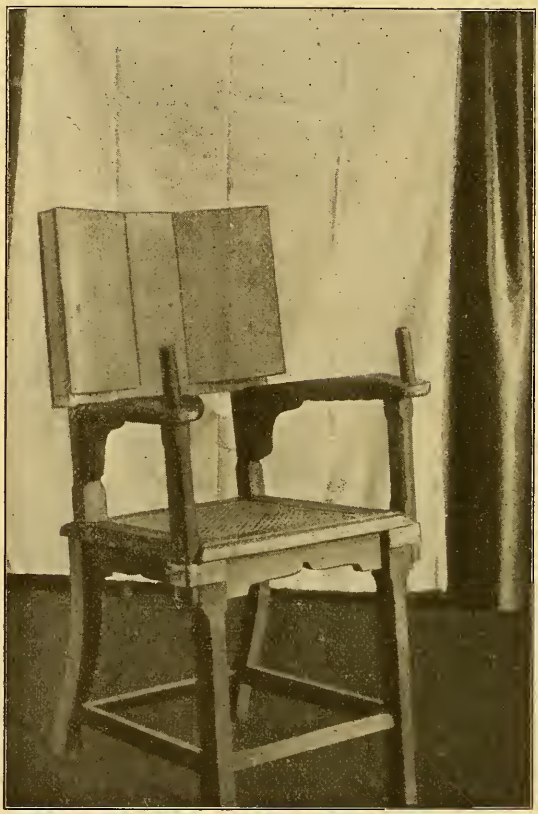
Die Röhre wird in entsprechender Höhe aufgestellt (s. o.). In Röhrenwahl, Distanz und Expositionszeit unterscheiden sich die Blendenaufnahmen nicht von gewöhnlichen Aufnahmen.

Spezieller Teil.

1. Schulter.

Zur Aufnahme des Schulterskelettes bedient man sich am besten des von Holzknecht und Kienböck angegebenen Aufnahmestuhles (Fig. 6), der auch zu Thorax- und Kieferaufnahmen verwendet wird. Derselbe besteht aus einem von vorn nach rückwärts

abfallenden schiefen Sitze und aus einer abnehmbaren Rückenlehne. Letztere trägt auf der Vorderseite zwei mittelst Hohlschienen am oberen Rande befestigte und seitlich verschiebliche Holzkeile (Schulterkeile), welche unter einander einen nach vorn offenen, stumpfen

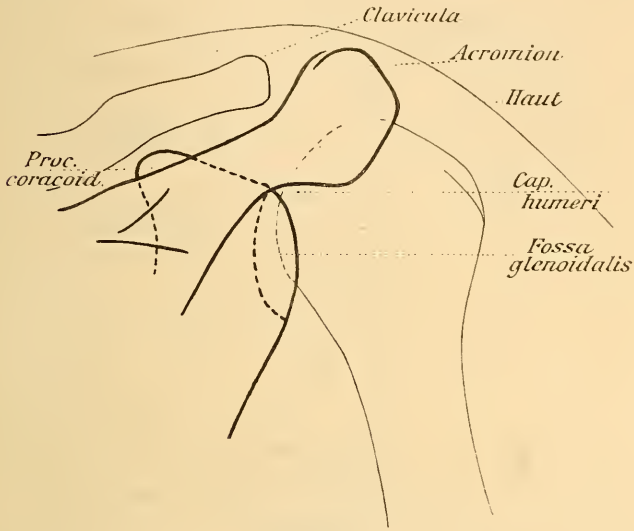


Figur 6.

Winkel einschliessen. Zum Aufstützen der Unterarme sind zwei seitliche, rinnenförmige Armstützen angebracht, die an den vorderen Enden zwei kurze, aufrechte Holzstäbchen tragen, welche von den Händen umfasst werden. Der Aufnahmestuhl hat somit das Aussehen eines hölzernen Lehnstuhles; er erscheint deshalb für die Auf-

nahme des Schultergürtels ganz besonders geeignet, weil im Gegensatz zur Schulteraufnahme in liegender Stellung die Athmungsexkursionen des Schultergürtels ausgeschaltet werden.*)

Durch Aufstützen der Ellenbogen auf die Armstützen unter gleichzeitigem Nachvorwärtsrücken des Gesässes auf der Sitzfläche werden die Schultern vom Thorax so weit abgehoben, dass letzterer seine respiratorischen Excursionen nicht mehr auf erstere übertragen kann. Die Platte (18/24) wird durch Anlehnen der Schulter an



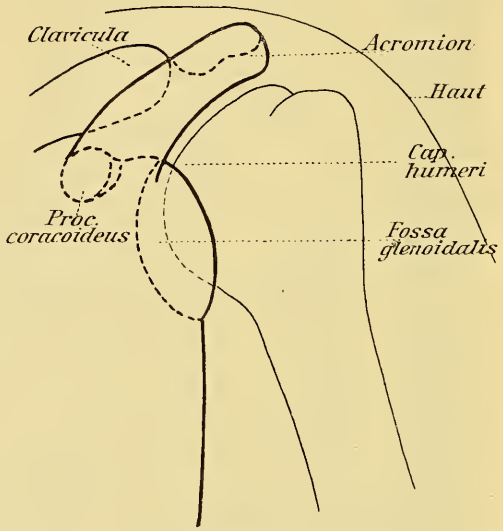
Figur 7.

Ventrodorsale Centrale Aufnahme der Schulter.

den Schulterkeil festgehalten, und das nun in Betracht kommende Gebiet wird in die Oeffnung einer Bleiblende (s. o.) eingestellt; die Aufnahmerichtung betreffend gewähren bei der Schulter die ventrodorsalen Projektionen die beste Uebersicht in die Skelettverhältnisse. Die Röhre darf aber nicht genau vor die Schulter, sondern mehr medial, fast vor das Sternum gestellt werden, denn dann erst fällt der Hauptstrahl senkrecht auf jene Ebene, in welcher der Humeruskopf, die Pfanne und die Skapulafläche liegen. In

*) Holzknecht und Kienböck: Zur Technik der Röntgenaufnahmen. W. klin. Rundschau 1901, No. 25.

jeder anderen Richtung werden die Schatten dieser Teile teilweise aufeinander fallen. Bezüglich der Höhenstellung der Röhre beachte man, dass entsprechend der durch das Vorrücken des Gesässes etwas schrägen Körperhaltung eine genaue zentrale Aufnahme nur zustande kommt, wenn wir den Röhrenfocus etwas über der Höhe des Schultergelenkes einstellen. Diese Aufnahmerichtung empfiehlt sich am meisten als erste Orientierungsaufnahme (s. Fig. 7). Aller-



Figur 8.

Ventrodorsale Aufnahme der Schulter mit cranialer Lampenverschiebung.

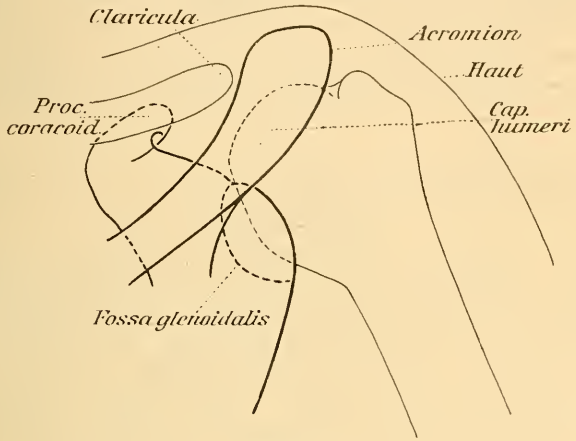
dings decken sich hierbei einzelne Abschnitte der das Schultergelenk konstituierenden Skelettteile; deshalb sind zu ihrer vollständigen Freilegung noch zwei weitere Aufnahmerichtungen notwendig, nämlich eine solche mit cranialer (nach oben) und eine mit caudaler (nach unten) Lampenverschiebung. Es resultieren somit drei Aufnahmerichtungen:

1) Eine zentrale: Röhre vorn einwärts und wenig oberhalb der Schulter. (Fig. 7.)
2) Eine excentrisch craniale: Verschiebung der Röhre in derselben Sagittalebene nach oben. (Fig. 8.)

3) Eine excentrisch caûdale: Verschiebung der Röbre in derselben Sagittalebene nach unten. (Fig. 9.)

Seitliche excentrische Lampenstellungen haben keine praktische Bedeutung.

Wir stellen somit einmal die Lampe zentral, d. h. so, dass (wie oben beschrieben) die Strahlen, das Schultergelenk schneidend, senkrecht auf die Platte auffallen, dann verschieben wir die Lampe in derselben Verticalen nach oben (cranial) und zuletzt nach unten



Figur 9.

Ventrodorsalexentrische Schulter-Aufnahme mit condaler Lampenverschiebung.

(caûdal). Die hierbei resultierenden Bilder ergeben, dass bei diesen drei Lampenstellungen folgende Skelettteile der Schulter am deutlichsten sichtbar gemacht werden, und zwar:

Central.	Cranial.	Caûdal.
Uebersichts-aufnahme	Caput humeri Spina scapulae Collum scapulae Fossa glenoidalis	Acromion Articulatio acromio clavicularis Extremitas acromialis claviculae Process. coracoideus

Wir ersehen aus dieser Zusammenstellung, dass die zentrale Röhrenstellung sich gerade bei der Schulter höchstens als Ueber-

sichtsaufnahme bewährt (wenn man z. B. nur eine Aufnahme machen will), dass hingegen zur deutlichen freien Sichtbarmachung der einzelnen, das Schultergelenk konstituierenden Skelettteile entweder die craniale oder caudale Röhrenverschiebung gewählt werden muss. Um das Radiogramm der einen Schulter mit jenem der anderen zu vergleichen, um z. B. eine einseitige Knochenatrophie nachzuweisen, ist eine Vergleichungsaufnahme unter völlig gleichen Bedingungen nötig, und wir bewerkstelligen dies, da sich ja der Lampenzustand bei getrennter Aufnahme der beiden Schultern mittlerweile geändert haben kann, unter Einem am besten in der Weise, dass wir die Röhre in der Medianen in ziemlicher Entfernung (ca. 60 cm) in Schulterhöhe anbringen und zwischen jeder Schulter und ihrem Schulterkeil eine Platte einklemmen.

Humerus und die langen Röhrenknochen der Extremitäten.

Wir verzichten auf die detailierte Darstellung der Humerusaufnahmen, welche sich begreiflicherweise ganz einfach gestalten, und bemerken nur, dass auch für den Humerus die Notwendigkeit der Ausschaltung der respiratorischen Bewegung gilt. Dies geschieht entweder analog der Schulter- oder der Ellenbogenaufnahme. Im Uebrigen sind hier, wie überall, je nach Befund ventrodorsale, radioulnare und umgekehrte, sowie alle schrägen Aufnahmen möglich. Das Gleiche gilt für die Aufnahmen des Femurschaftes und der langen Röhrenknochen des Unterarmes und Unterschenkels. Nur muss bei letzterem dem Umstande, dass Tibia und Fibula nicht nebeneinander in einer Frontalebene liegen, durch entsprechende excentrische Aufnahmen Rechnung getragen werden, damit die Bilder der beiden Unterschenkelknochen nicht zur Deckung gelangen.

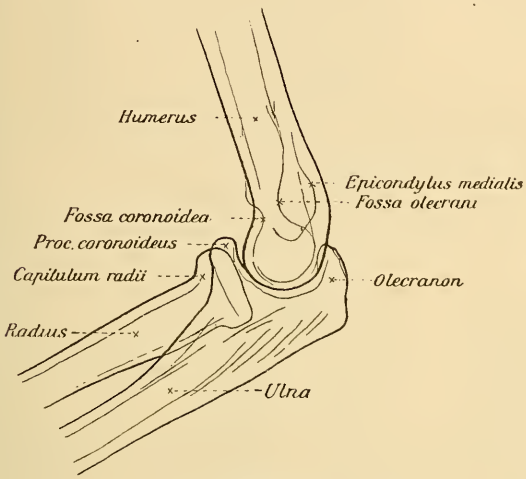
Ellenbogen.

Um über die anatomischen Verhältnisse des Ellenbogenskelettes*) genügenden Aufschluss zu erhalten, erweisen sich in der Regel folgende Aufnahmerichtungen hinreichend:

1) Die radioulnare Aufnahmerichtung: (Fig. 10).

*) Vgl. Dr. Jedliczka-Prag: Fortschr. a. d. Geb. d. Röntgenstrahlen, Ergänzungsheft 4.

Der Patient sitzt auf einem Stuhle, mit dem erkrankten Arme dem Untersuchungstische zugekehrt, diesem knapp an. Der Arm wird, im Ellenbogengelenke stumpfwinkelig gebeugt, derart auf eine erhöhte Unterlage (Polster) gebettet, dass er sich annähernd in der Horizontalen befindet, und dass die Schulter durch den in der Achselhöhe liegenden Polster vom Thorax abgehoben wird, damit sie keine respiratorischen Bewegungen auf den Arm überträgt. Der Condylus medialis liegt der Unterlage auf. Zur Fixation dienen Sandsäcke auf die untere Unterarm- und obere Oberarmhälfte gelegt.



Figur 10.
Radioulnare Ellenbogenaufnahme.

2) Ventrodorsale Aufnahme. (S. Fig. 11).

Arrangement wie bei 1), nur liegt der Ellenbogen in Streckstellung mit dem Olecranon der Unterlage auf, Hand in Supination ebenfalls mit dem Dorsum der Platte aufliegend, Fixation mit Sandsäcken.

Im Falle einer vorliegenden Beugekontraktur des Ellenbogengelenkes zerlegt man diese Aufnahme in folgende zwei Aufnahmen:

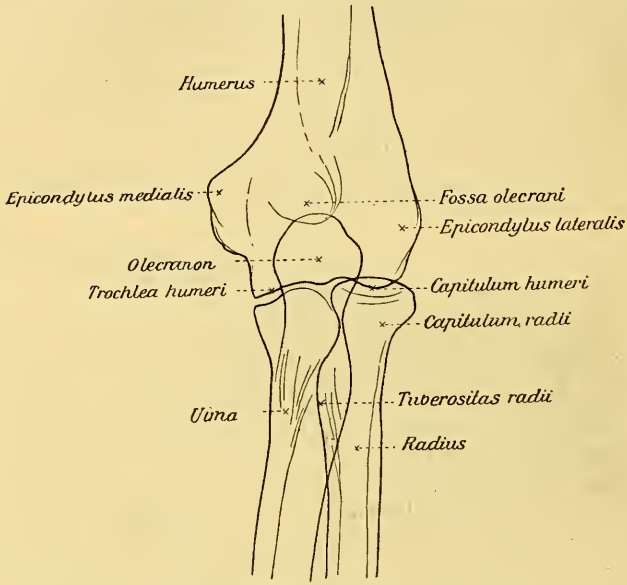
2 a) Ventrodorsale Aufnahme, unterer Oberarmabschnitt.

Sitz wie bei 1). Der Oberarm liegt mit seiner dorsalen Fläche der Unterlage auf. Als solche dient ein mit einer verticalen

Holzsäule versehenes Brett (Fig. 12), Arm in stumpfwinkeliger Flexion im Ellenbogengelenke, die Hand umfasst den oberen Teil der vertikalen Säule, welche für dieselbe als Stütze dient. Brett und Oberarm werden durch Sandsäcke fixiert.

Lampe möglichst zentral, im resultierenden Bilde wird der dem Humerus angehörige Gelenksanteil zur Ansicht gebracht.

2 b) Ventrodorsale Aufnahme, oberer Unterarmabschnitt.



Figur 11.
Ventrodorsale Ellenbogenaufnahme.

Patient sitzt auf erhöhtem Sitze derart, dass die dorsale Fläche des Unterarmes und womöglich auch die dorsale Fläche der Hand (extreme Supination) der Unterlage, durch Sandsäcke fixiert, aufliegt. Lampe möglichst zentral, es wird der obere Teil des Unterarmes mit seinem Ellbogengelenksanteile zur Ansicht gebracht.

Mit diesen zwei Bildern findet man wohl stets sein Auslangen, die Figuren 10 und 11 zeigen die dabei zum Ausdrucke kommenden Details. Nur selten wird man sich zu einer ulnoradialen (mit vorgeneigtem Oberkörper und der Unterlage aufliegendem Condylus lateralis) oder zu einer anderen atypischen Auf-

nahme, am ehesten noch zu einer solchen mit seitlich excentrischer Röhrenstellung oder anderweitiger Stellung des Ellenbogengelenkes genötigt sehen.

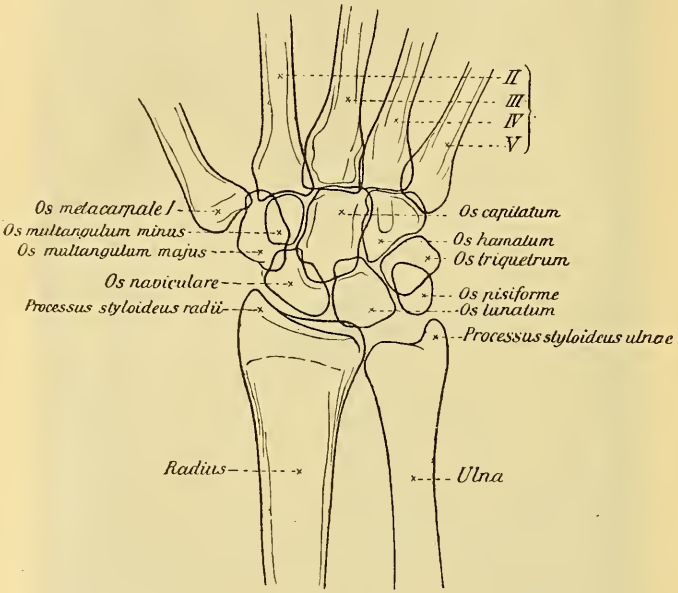
Figur 12.

Hand.

Für den unteren Unterarmsausschnitt und die Hand kommen folgende Aufnahmerichtungen in Betracht:

1. Dorsopalmare Aufnahmerichtung: (Fig. 13.)

Unterarm und Hand liegen wie bei der radioulnaren Ellenbogenaufnahme mit der palmaren Fläche der Unterlage auf. Die Hand befindet sich also im Gegensatze zu jener nicht in Supinations-, sondern in Pronationsstellung. Durch Unterschieben einer entsprechend grossen Platte kann man auf diese Weise den ganzen Unterarm (Ulna und Radius gekreuzt) samt Handwurzel und Hand oder nur Teile derselben zur Ansicht bringen. Das distale Ende



Figur 13.
Dorsopalmare Handaufnahme.

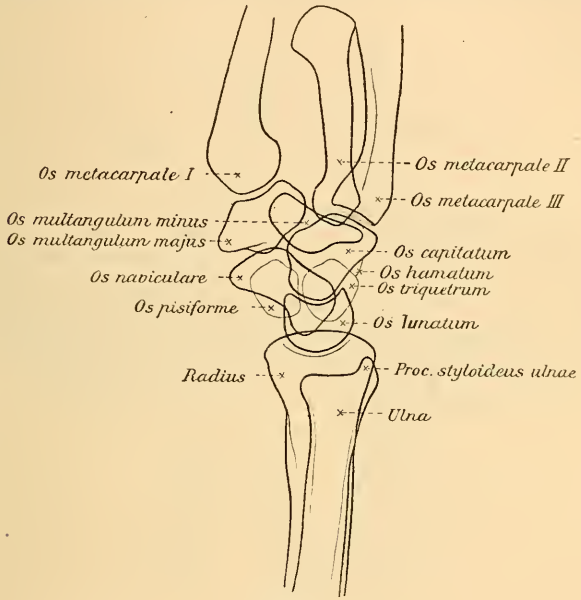
des Unterarmskelettes, die Handwurzel-Mittelhandknochen, sowie die Phalangen erscheinen ausserordentlich übersichtlich. Lampenstellung zentral.

2. Radioulnare Aufnahmerichtung (s. Fig. 14).

Sie dient vorzüglich dazu, um die Verschiebung eines Fragmentes oder eines luxierten Skelettteiles in senkrechter Richtung zur Flächendimension der Hand oder des Unterarmes nachzuweisen. Stellung wie bei der radioulnaren Ellenbogenaufnahme, Hand in halber Supination, die Furche zwischen Condylus medialis und Olecranon,

sowie Ulna und ulnare Kante der Hand liegen der Unterlage auf. Die Hand umfasst als Stütze die Säule des oben erwähnten Brettes an ihrem unteren Ende.

Will man sich über die Verhältnisse (z. B. Knochenstruktur) der radialen Seite des Handskelettes genauer, als es die radioulnare Aufnahmerichtung gestattet, orientieren, so erhält man darüber Aufschluss durch die

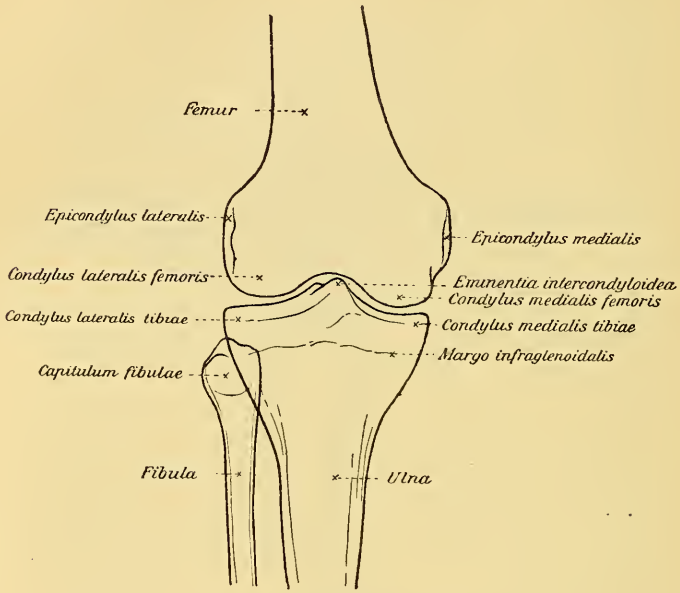


Figur 14.
Radioulnare Handaufnahme.

3. Ulnoradiale Aufnahmsrichtung.

Patient sitzt in vorgebeugter Haltung mit der erkrankten Seite derart an den Untersuchungstisch angelehnt, dass der Pectoralis der Tischkante aufliegt; die Hand befindet sich in ganzer Pronationsstellung, somit mit der radialen Kante, desgleichen der distale Unterarmsabschnitt mit dem Radius der Unterlage (die wiederum in dem mit Stützsäulchen versehenen Brettchen besteht) aufgelagert. Die Hand stützt sich an dem Stützsäulchen, Brust und Unterarm werden durch Sandsäcke fixiert. Centrale Röhreneinstellung. Das ent-

stehende Bild unterscheidet sich nicht wesentlich von dem vorigen (Fig. 14), doch kann die Differenz der beiden Aufnahmen durch Annäherung der Röhre verstärkt werden. Palmodorsale Aufnahmen unterscheiden sich so wenig von den dorsopalmaren, dass sie füglich entbehrt werden können. Wie bei den anderen Extremitäten kann durch excentrische Lampen- oder Organverschiebung je nach der vorliegenden Indikation dieser oder jener Skelett- oder



Figur 15.

Ventrodorsale Knieaufnahme.

Gelenksanteil zur deutlicheren Ansicht gebracht werden, doch können wir hierorts auf die Beschreibung solcher atypischen Aufnahmen nicht näher eingehen.

Hüftgelenk.

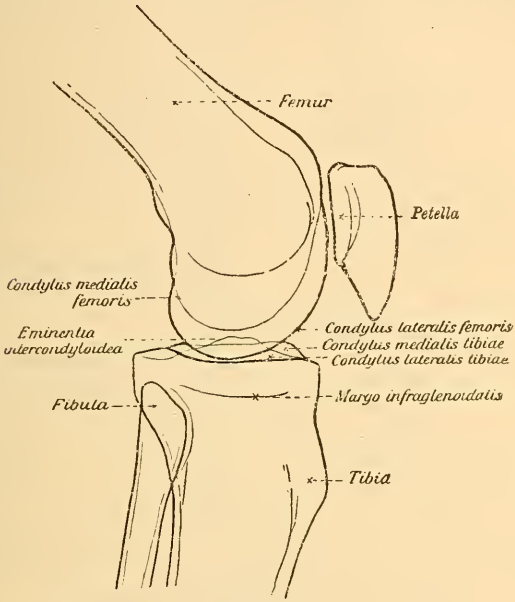
Da das Hüftgelenk im vorigen Kapitel besprochen wurde, entfällt die Berücksichtigung desselben an dieser Stelle.

Knie.

Für das Kniegelenk kommen folgende Aufnahmerichtungen in Betracht:

1. Ventrodorsale Aufnahme (Fig. 15):

Patient liegt in Rückenlage auf dem Untersuchungstisch, die untere Extremität gestreckt mit der Beugeseite auf der Unterlage. Der vertikal stehende Fuss wird wegen seiner geringen Stabilität



Figur 16.

Tibiofibulare Knieaufnahme.

durch Sandsäcke fixiert. Das zweite Bein wird abduziert, damit das Bild des Knies nicht durch Sekundärstrahlung beeinträchtigt wird. Aus dem gleichen Grunde wird bei Erwachsenen die Bleiblende (s. o.) verwendet. Centrale Röhrenstellung.

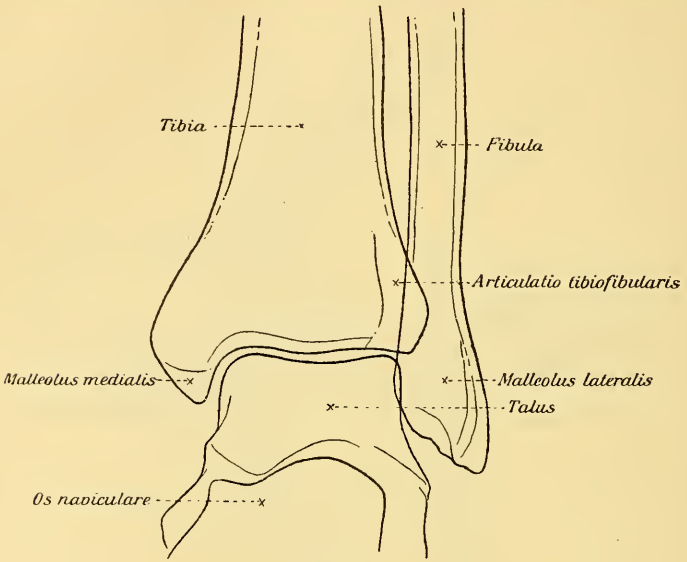
2. Tibiofibulare Aufnahme: (Fig. 16).

Patient liegt mit gebeugtem Kniegelenke auf der dem zu radiographierenden Kniee gleichnamigen Seite, somit mit dem Condylus lateralis der Unterlage auf; die andere Extremität wird eben-

falls etwas gebeugt, jedoch ohne das aufzunehmende Knie zu decken. Das Becken wird stark nach derselben Seite rotiert und der Rücken gekrümmt, wodurch eine ausgezeichnete Stabilität erzielt wird. Blenden- und Röhrenarrangement wie vorhin.

3. Fibulotibiale Aufnahme.

Patient liegt auf der gesunden Körperhäfte (der vorigen entgegengesetzt), die untere Extremität im Kniegelenke gebeugt, der



Figur 17.

Ventrodorsale Sprunggelenkaufnahme.

Condylus medialis des erkrankten Knies liegt der Platte auf und das gesunde Knie ebenfalls in Beugestellung seitwärts in ziemlicher Entfernung von ersterem. Blenden- und Lampenarrangement wie oben.

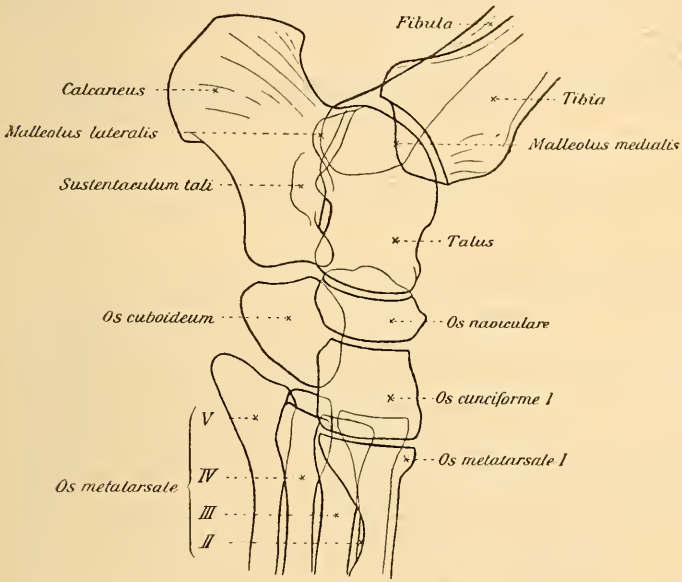
Will man das obere Fibulotibialgelenk, welches bei den vorgenannten Aufnahmen gedeckt erscheint, auf die Platte projizieren, so erweist sich eine excentrische fibuloventrodorsale Aufnahme nötig, d. h. die Extremität liegt wie bei der ventrodorsalen Aufnahme, nur wird die Lampe in einen Winkel von ca. 40° lateral verschoben.

Fuss.

Sprunggelenk und Fuss werden im wesentlichen durch folgende Aufnahmen zur Anschauung gebracht:

1. Ventrodorsale Sprunggelenkaufnahme: (Fig. 17.)

Lage des Patienten wie bei der ventrodorsalen Kniegelenksaufnahme, Fixation des Fusses und Unterschenkels durch Sandsäcke. Lampe central.



Figur 18.

Fibulotibiale Fussaufnahme.

2. Fibulotibiale Aufnahme: (Fig. 18.)

Lage wie bei der tibiofibularen Kniegelenksaufnahme, der Malleolus medialis berührt die Platte. Lampe central.

3. Tibiofibulare Aufnahme:

Lage wie bei der tibiofibularen Knieaufnahme, Malleol. lateralis berührt die Platte. Lampe central.

4. Dorsoplantare Fussaufnahme.

Rückenlage, untere Extremität und Kniegelenke stark gebeugt, die Planta pedis ruht der Platte auf. Sandsack fixiert das Sprunggelenk. Lampe central.

Um das Sprunggelenk auch im Stehen unter dem Einflusse der Körperlast radiographisch untersuchen zu können, haben Engels und Albers-Schönberg eine Methode angegeben*), welche besonders zur Bestimmung eines bereits bestehenden oder beginnenden Plattfusses mit Vorteil angewendet wird.

---

*) Albers-Schönberg. Die Röntgentechnik. Gräfe & Sillem, Hamburg 1903.

3. Kapitel.

Das Röntgenverfahren in der Chirurgie.

Von

Prof. Dr. A. Hoffa, Geh. Med.-Rat, Berlin.

Von allen Gebieten der Medizin hat unzweifelhaft die Chirurgie den grössten Vorteil von der Erfindung Röntgen's davongetragen. Die folgenden Seiten mögen den Aerzten, die in ihrer praktischen Thätigkeit den Nutzen des Röntgenverfahrens für die Chirurgie nicht so verfolgen können, als es wünschenswert ist, eine Uebersicht geben über das, was die Röntgenstrahlen im Dienste der Chirurgie zu leisten imstande sind. Wir haben zunächst alles Wichtige in einem allgemeinen Teil zusammengestellt auf Grund unserer eigenen Erfahrungen, die wir von den ersten Anfängen der Röntgenaera am Platze der Entdeckung selbst machen durften.

Das Hauptgebiet für die Anwendung der Röntgenstrahlen in der Chirurgie bilden die Verletzungen der Knochen und Gelenke, bei denen dies Verfahren sicherlich die grössten Triumphe gefeiert und die schönsten Erfolge gezeitigt hat.

Wir können heute sehen, wie oft wir früher im Dunkeln tappten und wie oft wir irrten selbst in Fällen, die absolut klar zu sein schienen. Ohne dem Patienten auch nur die geringsten Beschwerden zu verursachen, ohne durch etwa nötig werdende Manipulationen und Bewegungen noch Nebenverletzungen zu schaffen, erhalten wir durch die Röntgenstrahlen genauen Aufschluss über die Art und Weise der bestehenden Verletzung.

Starke Schwellung, starke Blutergüsse, heftige Schmerzen selbst bei den geringsten Bewegungen des verletzten Gliedes, häufig auch Indolenz von Seiten der Verletzten, — alles das waren früher Hindernisse, die uns bei der Diagnosenstellung in den Weg traten und dieselbe erschwerten, ja manchmal auch ganz unmöglich machten. Die Röntgenphotographie beseitigte alle diese Hindernisse spielend.

Selbst die kleinsten Brüche und Fissuren, selbst die Absprengung von minimalen Knochenstückchen, die zu erkennen früher einfach zu den Unmöglichkeiten gehörte, können uns jetzt nicht mehr verborgen bleiben. Die Röntgenstrahlen ziehen sie ans Licht und führen sie uns klar vor Augen. Die Diagnose Contusion und Verstauchung ist seit der Anwendung der Röntgenstrahlen immer seltener geworden. Wieviel Brüche früher unter dieser falschen Flagge segelten, das haben wir jetzt erst so recht kennen gelernt. Frakturen an Knochen, die früher infolge deren anatomischen Lage oder sonstigen Beschaffenheit selbst von dem geübtesten tastenden Finger nicht konstatiert werden konnten, sind leicht zu erkennen. Wir erinnern hier nur an die Frakturen der kleinen Handwurzel und der Fussknochen.

Auch der Schussfrakturen müssen wir hier gedenken, die oft eine Menge Knochensplitter und -Splitterchen aufweisen. Keiner von diesen kann uns jetzt mehr entgehen; wir können sie im Notfalle alle entfernen und so das Zurückbleiben selbst des winzigsten verhindern, das trotz seiner Kleinheit oft genug fähig sein kann, die Heilungsdauer wesentlich hinauszuschieben. Wie sehr uns in dieser Beziehung die Röntgendurchleuchtung gerade auf dem Kriegsschauplatze förderlich sein kann, darüber haben unsere Kollegen, die im südafrikanischen Kriege thätig sein durften, genugsam berichtet.

Erkennen können wir ferner die Interposition von Weichteilen, die so oft den Grund für eine verzögerte Callusbildung oder für Pseudarthrosen abgaben. Zwischenräume zwischen den im Sinne einer Dislocatio ad longitudinem verschobenen Knochenflächen, die bei verschiedenen Stellungen des Gliedes immer dieselben bleiben, deuten gewöhnlich auf derartige Interpositionen hin und bestimmen uns, diese zunächst zu beseitigen.

Bei Lähmungen, wie wir sie öfter im Gefolge von Frakturen beobachten können in den Fällen, wo der betreffende Nerv dem verletzten Knochen dicht anlag, kann uns mitunter das Röntgenbild

auch Aufschluss geben über die Aetiologie, über die Ursache der Lähmung, indem es uns erhebliche Kalluswucherungen, knöcherne Kanäle, Knochenspitzen, scharfe Knochenkanten aufweist, welche durch Druck auf den Nerv die Lähmung herbeiführen. Wir entfernten in einem Falle die auf dem Röntgenbilde sichtbare, an der Bruchstelle eines Oberarms vorspringende Knochenkante, durch die der Nervus radialis abgeknickt wurde, und erzielten vollkommene Heilung der schon lange Zeit bestehenden Lähmung.

Der praktische Arzt soll es sich zur Regel machen, in jedem nur einigermassen unsicheren Verletzungsfall das Röntgenbild machen zu lassen. Dann werden die für den Patienten oft so verhängnisvollen Fehldiagnosen immer seltener werden. Ich erinnere hier nur an die sogenannten Kontusionen des Hüftgelenkes, unter denen sich in der Regel Schenkelhalsbrüche verstecken. Aber auch an anderen Körperteilen treffen wir nicht selten Frakturen, wo die Aerzte solche nicht vermutet haben. Noch kürzlich hat wieder Schlenka uns an einer ganzen Reihe von Fällen aus der Helferichschen Klinik gezeigt, dass Frakturen vorhanden waren und sich auf der Platte erkennen liessen, wo man sie sicher auszuschliessen glaubte.

Dass mit der genauen Erkennung der Frakturen die Therapie in manchen Fällen eine andere geworden ist, dass so mancherlei, was theoretisch erdacht, vortrefflich zu sein schien, sich jetzt als praktisch unrichtig und unzweckmässig erwies und deshalb über Bord geworfen wurde, das ist wohl zur Genüge bekannt und klar.

Wenn wir heute die Fraktur auf der Röntgenplatte sehen, so ergiebt sich auch in den meisten Fällen sogleich die zweckmässige Therapie von selbst. Wir wissen sofort, nach welcher Seite die leicht zu erkennende Dislocation ausgeglichen werden muss, welche Handgriffe anzuwenden sind, um diese zu beseitigen, und wie am zweckmässigsten der Verband anzulegen ist, dessen Hauptaufgabe es doch ist, die beseitigte Dislocation nun auch in der richtigen Lage festzuhalten. Aber nicht genug damit; wir können den Heilungsverlauf auch weiter verfolgen, wir können kontrollieren und uns zu jeder Zeit und jeder Stunde überzeugen, ob wir mit den ergriffenen Massnahmen auch wirklich das erreichen, was wir erreichen wollten. Denn seit uns die verbesserte Technik auch die Möglichkeit gegeben hat, selbst durch einen starken Gipsverband hindurch zu schauen, sind wir imstande, ohne auch nur im geringsten dem Patienten Schmerzen zu bereiten, ohne auch nur im geringsten den etwaigen guten Heilerfolg zu stören, nachzuforschen und zu prüfen, ob noch alles in bester Ordnung ist.

Wir sehen, wie an Stelle der früheren Bruchlinie mehr und mehr eine feste Verbindungsmasse eintritt, welche das Licht weniger gut durchlässt, und wie bei vorhandenen Dislocationen, die sich ja in gewissen Fällen nicht immer ganz beseitigen lassen, sich je nach der Grösse derselben starke Kallusmassen bilden. Wir können heute nicht mehr, wie das wohl früher auch manchmal dem besten Chirurgen passiert ist, auch wenn der Verband noch so gut angelegt zu sein schien, auch wenn man noch so fest überzeugt war von der glatten und tadellosen Heilung, bei Abnahme des Verbandes durch eine deform geheilte Fraktur überrascht worden. Starke Kallusbildung oder andere Umstände konnten uns früher täuschen und liessen uns oft eine gute Stellung annehmen, wo in Wirklichkeit eine solche nicht vorhanden war. Und dann war es gewöhnlich zu spät, dann war an eine Correction nicht mehr zu denken, wenn anders der Knochen nicht von Neuem gebrochen werden sollte.

Wie schön und leicht lässt sich dies alles heute unter der Kontrolle der Röntgenstrahlen vermeiden. Finden wir bei der Durchleuchtung, dass die Bruchenden nicht gut aneinanderpassen und liegen —, nun, dann können wir jederzeit korrigierend eingreifen.

Andererseits sind wir aber auch durch die Röntgenstrahlen zu der Erkenntnis gekommen, dass von idealen Heilungen bei Knochenbrüchen, wie wir sie früher immer anzunehmen glaubten, nicht oft die Rede sein kann. Nur in den allerseltensten Fällen finden wir eine tadellose Adaptierung der Bruchenden. Wir haben uns unzählige Male davon überzeugen können, dass in Fällen, in denen die tadellose Funktion des verletzten Gliedes und jegliches Fehlen irgendwelcher nachweisbaren Anomalie auf eine ideale anatomische Heilung sicher schliessen liessen, eine solche dennoch nicht vorhanden war.

Als Regel für die Röntgenaufnahmen bei Verletzungen möchten wir es hinstellen, Aufnahmen von zwei Seiten her zu machen. Brüche, die von der einen Seite aufgenommen fast keine Deformität erkennen lassen, können eine erhebliche Deformität zeigen, wenn sie von der anderen Seite aufgenommen werden, ja es giebt Brüche — wir erinnern nur an die Schrägbrüche der Fibula von hinten nach vorn —, die von der einen Seite allein überhaupt nicht zu erkennen sind, die vielmehr erst augenfällig werden, wenn man sie von der andern Seite her photographiert.

Die richtige Deutung der Röntgenbilder ist keineswegs eine leichte Aufgabe. Gar oft stösst der Anfänger auf Schwierigkeiten, und es erheischt schon eine gewisse Erfahrung, wenn man nicht groben Täuschungen ausgesetzt sein will. — Bei

jugendlichen Individuen, bei denen das Wachstum noch nicht abgeschlossen ist, liegen die Dinge wesentlich anders als bei Erwachsenen. Es ist deshalb dem Anfänger dringend anzurathen, die Veränderungen des Skeletts während des Wachstums zu studieren. Die Knochenkeime der Epiphysen haben bei jugendlichen Personen häufig genug schon Veranlassung zur Verwechselung mit Frakturen gegeben, ebenso die Schaltknochen und die Sesambeine. Gar oft ist das Os trigonum tarsi schon mit einem abgesprengten Knochenstück verwechselt worden, oder man hat für ein solches das Sesambein gehalten, das Wildt in 4 Fällen von 147 photographischen Aufnahmen von Kniegelenken auf der Rückseite dieses finden konnte. Auch an der Beugeseite des Daumenendgelenkes ist des Oeftern ein kleines Sesambein zu beobachten, von dessen Existenz man Kenntnis haben muss, wenn anders man nicht Fehldiagnosen stellen will.

Einen grossen Wert besitzt das Röntgenverfahren in der „Unfallpraxis“. Schmerzen, für die wir früher oft keinen Grund mehr finden konnten, lassen sich jetzt oft mit Hülfe der Strahlen erklären, und schon manchem, der für einen Simulanten gehalten wurde, hat dies Verfahren zu seinem Rechte verholfen. Auf der anderen Seite haben aber auch die Röntgenstrahlen schon manchen Simulanten entlarven helfen. Wir selbst haben Fälle erlebt, bei denen eine Fraktur bestehen sollte, auf die alle Beschwerden zurückgeführt wurden und bei denen die Aufnahme dann eine solche nicht erkennen liess. Damit soll nun nicht etwa gesagt sein, dass wir jetzt imstande sind, jeden Simulanten mit Hilfe der Röntgenstrahlen zu erkennen. Weit gefehlt! Es giebt noch Fälle genug, in denen Quetschungen, Bänderzerreissungen u. dgl. m. ohne Mitbeteiligung und ohne Mitverletzung der Knochen beobachtet werden, die nicht auf der Platte sichtbar sind und doch dem Träger erhebliche Beschwerden machen können.

Auch bei der Abfassung der Gutachten über Unfallpatienten leisteten uns die Skiagramme oft sehr gute Dienste. Um den in Frage kommenden Personen, die doch meist Laien sind, die Fälle klar zu machen und die Deformität vor Augen zu führen, sind oft lange Beschreibungen und Erörterungen nötig, die natürlich viel Zeit und Mühe kosten und schliesslich doch noch missverstanden werden können. Legt man dem Gutachten nun ein Röntgenbild bei, so genügt ein kurzer Hinweis auf dieses, um selbst die

komplizierteste Deformität dem Leser zu veranschaulichen. Irrtümer und Missverständnisse sind so gut wie ganz ausgeschlossen. Es giebt kein Verfahren, das an Genauigkeit, Einfachheit und Sicherheit diesem gleichzusetzen wäre, andere Nichtbeobachter des Falles über die Art einer Verletzung und über die durch dieselbe bedingten Funktionsstörungen aufzuklären. Wir wollen noch einmal hervorheben, dass gelegentlich trotz starker restierender Deformität verhältnismässig gute Funktionsverhältnisse bestehen können. Man soll daher nie lediglich nach dem Röntgenbilde allein urteilen, sondern auch nach der Funktion. Denn würden wir nur das erstere thun, so würden oft höhere Renten bewilligt werden müssen, als es wirklich angebracht ist.

Ganz verkehrt ist es, dem Verletzten einen Abzug der Platte in die Hand zu geben. Sieht der Laie, dass eine Dislokation der Fragmente besteht, so stellt er sicher höhere Ansprüche an die Versicherungsgesellschaft, als er sonst gethan hätte. Diese Erfahrung haben wir nur zu oft machen müssen.

Alles, was wir bisher über die Frakturen gesagt haben, gilt auch im gleichen Sinne für die Verrenkungen der Knochen. Auch diese können uns heute in Bezug auf die Diagnose keine Schwierigkeiten mehr bereiten, selbst wenn es sich nur um sogenannte Subluxationen handelt. Es sind früher Fälle genug vorgekommen, wo diese als solche zu erkennen einfach unmöglich war. Wie schwerwiegend es für die Therapie ist, wenn es sich um Luxationen handelt, die auch noch mit Frakturen kombiniert sind, das bedarf wohl keines Wortes der Erwähnung.

In vielen Fällen gelingt es auch, mit Hilfe des Röntgenbildes festzustellen, warum manche Luxationen so schwer zu reponieren sind und warum manche Luxationen so häufig wiederkehren, d. h. habituell werden.

Nächst den Frakturen und Luxationen kommen für die Untersuchung mit Röntgenstrahlen am häufigsten die Fremdkörper in Betracht. Wir erkennen ihre Lage, ihren Sitz, ihre Grösse.

Am deutlichsten markieren sich metallische Fremdkörper, mögen sie noch so klein und winzig sein. Forster konnte im Knie einer Patientin ein Nadelfragment von 0,02 g röntgographisch darstellen, ein Befund, der ihn dazu veranlasste, genaue methodische Untersuchungen auszuführen über die kleinsten noch nachweisbaren Massen metallischer Fremdkörper. Er kam zu dem Resultat, dass

ein eiserner Fremdkörper von nur einem Milligramm Gewicht mit voller Sicherheit in einer menschlichen Hand nachgewiesen werden kann, mag derselbe ober- oder unterhalb der Knochen liegen.

Wir können jedoch nicht nur Kugeln und andere Geschosse, Nadeln, Metallsplitter, Nägel u. a. m. nachweisen, sondern sind auch imstande, Glassplitter und Porzellanstückchen auf guten Aufnahmen deutlich zu erkennen.

Schwieriger als die Erkennung der Fremdkörper und die Bestimmung ihrer Grösse ist ihre Lokalisation; dieselbe gehört oft mit zu den schwierigsten Aufgaben, und sind uns Irrtümer hierbei auch trotz grösster Sorgfalt nicht erspart geblieben. Neuerdings sind ausserordentlich sinnreiche Apparate zur Lagebestimmung der im Körper befindlichen Fremdkörper konstruiert worden. Wir wollen auf diese hier nur hinweisen, ebenso auf das von Hildebrand in die Praxis eingeführte stereoskopische Verfahren*). In andern Abschnitten dieses Buches wird davon mehr die Rede sein. Hier wollen wir nur hervorheben, dass wir in der Regel auch mit einfacheren Methoden zum Ziele zu kommen vermögen, und auf diese möchten wir, da sie ja doch hauptsächlich für den Praktiker in Betracht kommen, etwas näher eingehen. Wenn wir auch die Tiefenbeurteilung durch die Abmessung der Helligkeit des Schattens bestimmen können, da ja bekanntlich der Gegenstand desto dunkler und schärfer erscheint, je näher er der photographischen Platte liegt, und desto heller und verschwommener, je weiter, so brauchen wir wohl heute doch nicht mehr so zu verfahren, wie es Petersen zu Beginn der Röntgenaera empfahl. Er nahm ein Stück Fleisch von demselben Durchmesser des betr. Gliedes, in welches er Bleistücke von der ungefähren Grösse der gesuchten Kugel oder dergleichen in verschiedenen Höhenabständen versenkte, und nun durch Vergleichung der Helligkeit der Schattenbilder dieser Bleistücke und des Schattenbildes der gesuchten Kugel eine genaue Tiefenbestimmung machte. Dies Verfahren erschien damals Petersen einfacher, als zwei Aufnahmen zu machen. Heute machen wir viel einfacher zwei oder mehrere Aufnahmen des betreffenden Körperteiles von verschiedenen Seiten aus und können dann durch die Kombination dieser Bilder sichere Schlüsse ziehen.

Wir können uns aber auch bei der Lokalisation der Fremdkörper der Schirmuntersuchung bedienen, indem wir die Ex-

*) Anm. s. Teil II.

kursionsgrösse des Fremdkörpers zur Exkursionsgrösse der benachbarten Knochenteile bei Bewegungen des in Frage kommenden Körperteils zu bestimmen suchen, da ja bekanntlich nach den physikalischen Gesetzen der vom Durchleuchtungsschirm ferner gelegene Körper grössere Exkursionen ausführen muss als der, der dem Schirm näher liegt.

Es sind selbst Versuche gemacht worden, unter der Führung von Schirmuntersuchungen Fremdkörper aufzusuchen und sofort zu entfernen. Wir schwärmen nicht für dies Verfahren und wir möchten mit Beck und andern derartige Manipulationen nur unter den zwingendsten Verhältnissen angewandt wissen, da bei solchem Vorgehen die Asepsis zu beträchtliche Gefahr läuft.

Ebenso wie in der Nase, in den Augen, in der Tonsille können wir Fremdkörper auch in den grossen Körperhöhlen nachweisen. So sind Gebisse im Oesophagus nachgewiesen, Hemdenknöpfe in den Bronchien, verschluckte Münzen im Darmkanal und dergl. m.

Auch das zu Heilzwecken in Verbindung mit Glycerin oder Oel eingeführte Jodoform können wir sichtbar machen. Wir können genau die Dauer der Resorption desselben feststellen und davon die Notwendigkeit neuer Injektionen abhängig machen. Wir konnten mit Hülfe der Röntgenstrahlen nachweisen, dass das Jodoform bis zum eigentlichen Knochenherd vordringt und selbst lange Bahnen durchläuft. Die ober- und unterhalb des Poupart'schen Bandes in einen Senkungsabscess eingespritzte Masse drang bis zu dem selbst in den oberen Partieen der Wirbelsäule gelegenen Krankheitsherd vor und zeigte als dünner, gewundener Strang auf der Röntgenplatte den Verlauf des Kanals und den primären Herd. Aus diesem Grunde kam Kümmel auf den Gedanken, das Jodoformglycerin zu diagnostischen Zwecken in Fistelgänge zu injicieren: Bei einer Einspritzung in einen solchen von erheblicher Länge, den genannter Autor als von einer Synchondroseneiterung herrührend angesehen hatte, führte die schattengebende Lösung bis zur Niere. Diese wurde so als krankmachende Ursache erkannt und mit nachfolgender Heilung entfernt.

Wenn es nun auch, wie aus alle dem bisher Gesagten wohl zur Genüge ersichtlich ist, über allen Zweifel erhaben ist, dass das Hauptgebiet der Verwertung der Röntgenstrahlen für die Chirurgie in der genauen Feststellung von Knochenbrüchen und Luxationen und in der Auffindung und Lokalisation von Fremdkörpern gelegen

ist, so haben wir trotzdem auch noch erhebliche Fortschritte nach einer anderen Seite hin gemacht, wir meinen Fortschritte in der Erkenntnis der Knochenerkrankungen.

Wir können heute die Tuberkulose, die Osteomyelitis, die Lues in ihrer ganzen Ausdehnung und oft in ihren ersten Anfängen erkennen. Knochenabscesse, Knochencysten, Knochengeschwülste entgehen selbst im Anfangsstadium unseren Augen nicht mehr. Wie manchem Patienten können wir dadurch das Glied retten und wie manchem Patienten sogar das Leben!

Man ist in der Lage, alle diese aufgeführten Erkrankungen nicht nur aufs genaueste zu lokalisieren und sich bezüglich ihrer Ausdehnung genau zu orientieren, sondern auch ihren Verlauf in allen Stadien zu verfolgen und danach das Eingreifen, den Gang der Operation genau zu bestimmen. Eine kurze Durchleuchtung verschafft uns Klarheit und macht viele schmerzhafte Probeincisionen und Punktionen unnötig.

Köhler hat uns in umfangreicher Weise die einzelnen Knochenerkrankungen in schönen, scharfen und klaren Abbildungen vor Augen geführt und an der Hand dieser näher beschrieben.

Befassen wir uns zunächst mit den Knochengeschwülsten. Wenn es auch oft genug möglich ist, an nicht allzu umfangreichen fleischigen Körperstellen derartige Geschwülste zu diagnostizieren, so sind es doch erst wieder die Röntgenstrahlen gewesen, die uns genaue und sichere Auskunft gaben nicht nur über die Gestalt und Grösse, sondern auch über die Struktur der Geschwulst.

Am häufigsten sind nach Köhler von allen Knochengeschwülsten die Periostosen; sie bilden ganz dünne Auflagerungen, die auch infolgedessen keine Struktur erkennen lassen.

Die nächsthäufigsten sind die Exostosen, die entweder aus kompakter, fester oder spongiöser Knochensubstanz bestehen und je nachdem Exostosis eburnea oder spongiosa genannt werden. Bei letzterer sind die Mark- und Knochenräume gleichmässig verteilt. Diese beiden Arten können natürlich auch ineinander übergehen. Sehr auffallend ist bei ihnen allen der grosse Kalkgehalt, den die Röntgogramme deutlich erkennen lassen.

Auch die Chondrome können wir auf den Röntgenplatten sehen; sie heben sich, wenn sie auch meist nur einen schwachen Schatten im Bilde zeigen, sehr gut ab, selbst wenn sie auch noch so klein sind.

Der das Enchondrom umgebende Knochen ist meist von normaler Dichtigkeit, während die eigentliche Knorpelmasse durchlässig ist. Wird die Geschwulst erst grösser, so zeigt sich auch bald der ihnen eigentümliche lappige Bau, den wir zum Unterschied bei den Sarkomen nicht finden, die sich mehr gleichmässig an der Peripherie auszudehnen pflegen. Wir können diese Sarkome schon in den ersten Anfängen erkennen und können sie als zentrale Riesenzellensarkome mit dicker Knochenschale und als cystische unterscheiden. Die letzteren lassen sich nach von Bergmanns Erfahrungen durch Röntgenstrahlen dadurch diagnostizieren, dass sie stets am Ende der Diaphyse zu sitzen pflegen und nicht auf die Epiphyse übergreifen.

Auch bei metastatischen Prozessen können uns die Strahlen von eminenter Wichtigkeit sein; so gelang es z. B. Gocht, bei einer Dame mit Mammacarcinom eine Metastase an den ersten drei Brustwirbeln nachzuweisen, die durch spinale Symptome vermutet wurde.

Auch die Myositis ossificans möchte ich noch an dieser Stelle erwähnen, von der wir einige gute Bilder erhielten.

Gehen wir nun zu den eigentlichen Knochen- und Gelenkerkrankungen über und besprechen wir zunächst die, die am häufigsten in die Hände der Aerzte kommen, wir meinen die Tuberkulose der Knochen und Gelenke. Diese lässt sich natürlich auch ohne Röntgenstrahlen nachweisen durch Symptome, auf die wir hier wohl einzugehen nicht nötig haben. Dass uns aber trotzdem in gewissen Fällen die Strahlen gute Dienste leisten, ja fast unentbehrlich sind, und dass wir sie trotzdem vielfach anwenden, selbst wenn die Diagnose feststeht und sicher ist, ist klar und selbstverständlich. Zeigen sie uns doch erst die genaue Ausdehnung des Krankheitsprozesses; wir sehen, ob die Knochen oder nur die Weichteile befallen sind, wir sehen die Ausdehnung einer etwa bestehenden Caries und erfahren somit auch sogleich den Ort und die Stelle, wo wir eventuell einzugreifen haben. Selbst die kleinsten Knochenherde entgehen heutzutage unsern Augen nicht mehr.

Köhler unterscheidet in Bezug auf die Röntgenbilder bei der Tuberkulose drei Typen, deren Hauptmerkmale folgende sind:

Beim ersten Typus zeigen die Bilder nur eine diffuse Knochenatrophie höchsten Grades, über die wir noch später einiges zu sagen haben werden; beim zweiten besteht eine diffuse Atrophie verschiedenen Grades; an einzelnen Knochenpartien zeigt sich unregel-

mässige Fleckung und Tüpfelung. Beim dritten Typus fehlt jede Atrophie. Wir finden an einer Stelle des Knochenschattens circumscripte, lichtdurchlässigere Partien mit unregelmässig zackigen und buchtigen Rändern.

Dass diese drei Typen nicht immer scharf gesondert und getrennt vorkommen, sondern dass es auch unter ihnen Uebergangsformen giebt, ist wohl selbstversändlich.

Die erwähnte hochgradige Atrophie, die nach Köhler nicht etwa lediglich von der langen Schonung der schwer erkrankten Extremitäten herrührt, sondern infolge des hochgradigen Kalkmangels zu erklären ist und die sich besonders an den Gelenkenden zeigt, ist ein wichtiges Symptom für Tuberkulose und besonders ein brauchbares differentialdiagnostisches Merkmal in den frühesten Stadien dieser Gelenkerkrankungen, bei denen dann später die Gelenklinien weniger scharf ausgeprägt, die Contouren verschwommen und oft nur schwach erkennbar sind; die betr. Knochen sind durchlässiger. Wir sehen wolkenartige Trübungen, zottenartige Fortsätze an den Gelenkenden u. dergl. m.

Bei den Fällen, in denen starke Atrophie zu konstatieren ist, handelt es sich immer um eine erhebliche Mitbeteiligung von Seiten der Weichteile, und bei diesen Fällen ist auch das primäre Leiden in der Synovialis oder in den sie bedeckenden Weichteilen zu suchen.

Dass es natürlich auch Fälle giebt, wo die Atrophie bei tuberkulösen Gelenkerkrankungen an den benachbarten Knochen fehlt, konnten wir auch konstatieren; diese Fälle sind aber äusserst selten.

Wir haben also in den Röntgenstrahlen auch hier wieder ein unfehlbares Mittel, die Erkrankung in ihren Anfangsstadien zu erkennen und somit auch die richtige Therapie anzuwenden. Wieviel Gelenktuberkulosen, namentlich an der Hand und am Fuss, sind wohl in ihrem Entstehen schon für Verstauchungen gehalten worden, zumal da ja die Patienten sogleich immer mit einem Trauma bei der Hand zu sein pflegen!

Ist der Knochen aber schon cariös geworden, so finden wir auf der Röntgenplatte Mangel jeder normalen Struktur und eine Anzahl unregelmässig grosser und unregelmässig verteilter hellerer Flecken. In den Fällen, in denen der Knochen ganz zerstört ist, giebt er keinen tieferen Schatten als die ihn umgebenden Weichteile.

Bei der Spina ventosa finden wir keine Atrophie; dieselbe ist circumscript abgegrenzt.

Nächst der Tuberkulose kommt für die Röntgenuntersuchung am häufigsten die chronische Osteomyelitis in Betracht, die sich durch eine Verdickung dokumentiert, die ganz gleichmässig ansteigt

und abfällt. Meist zieht an der verdickten Partie parallel zur Contour der Knochenrinde eine ca. $1^1/_2$ mm abstehende zweite Linie, die eine gleichzeitig bestehende ossificierende Periostitis anzeigt.

Für die Osteomyelitis ist eine hochgradige Sklerosierung des Knochens geradezu typisch, deshalb geben hier die Knochen immer sehr kontrastreiche Bilder mit scharfen Contouren, während dies, wie wir bereits gesehen haben, bei der Tuberkulose nicht der Fall ist.

Auch Sequester können wir mit Hilfe des Röntgenbildes sichtbar machen. Köhler bezeichnet den Zeitraum von acht Wochen als den frühesten Termin, an dem dieselben auf der Platte nachweisbar sind. Wir können genau ihre Grösse und Lage bestimmen und genau auch den Zeitpunkt, an dem sie vollkommen gelöst sind.

Auf der andern Seite können wir aber auch wieder die allmählich zunehmende Knochenneubildung solcher durch Osteomyelitis zerstörten oder ausgestossenen oder durch die Operation entfernten Knochen erkennen und genau in ihrem Verlauf verfolgen. Schnell und rasch geht die Neubildung oft vor sich, zuerst in Gestalt eines schmalen, schattengebenden Saumes, der sich immer und immer mehr verdickt, bis er wieder einen vollständigen Knochen darstellt.

Bei der Lues kommt eigentlich nur die tertiäre Periode in Frage. Meist handelt es sich in diesen Fällen um ossifizierende Periostitiden. Der befallene Knochen behält seine normale Gestalt; ein gleichmässig breiter Schattenstreifen liegt der Corticalis auf, sodass es oft Schwierigkeiten macht, diese Erkrankung auf der Platte von den andern bereits vorerwähnten Erkrankungen zu unterscheiden. Oft sind aber auch an den Knochen unregelmässige Verkrümmungen und Knickungen nachweisbar; ihre Solidität wechselt auffällig. Sie lassen kleine flache Höcker erkennen und daneben wieder kleine Vertiefungen, sodass ossificierende und rareficierende Periostitis mit einander abzuwechseln scheinen.

Auch die Gummata können oft eingreifende Zerstörungen am Knochen in kurzer Zeit hervorrufen. Wir können in dieser Beziehung nur Köhlers Erfahrungen bestätigen; auch wir sehen, dass in der Nähe eines solchen Gumma's die Weichteile einen dunkleren Schatten als an anderen Partien erkennen liessen infolge der sehr dichten und umfangreichen Infiltration.

Bei der Arthritis deformans sind die geraden Gelenklinien verschwunden; der Knorpel zeigt sich zerfasert, gleichsam angenagt und abgeschliffen. Die Veränderungen an den betreffenden Knochen sind so charakteristisch und deutlich, dass wir hier nicht näher mehr darauf einzugehen nötig haben. Dasselbe Bild zeigt sich auch bei der Athropathia tabica.

Ferner kommen noch die Rhachitis und die Osteomalacie in Betracht, deren Verlauf wir mit Hilfe der Röntgenstrahlen von Anfang bis zu Ende genau verfolgen können. Wenn die Strahlen hierbei auch nun in Bezug auf die Therapie etc. nicht von allzu grossem praktischen Wert sind, so sind sie doch sicherlich von grossem wissenschaftlichen Wert. Und wie bei den Verletzungen und Brüchen, so sind sie uns auch hierbei ein willkommener Helfer und Mitarbeiter beim klinischen Unterricht. Klar und deutlich können wir dies alles heutzutage unsern Zuhörern vor Augen führen und demonstrieren, ohne dass wir zu fürchten haben, missverstanden zu werden.

Bei beiden Erkrankungen fällt vor allen Dingen die Dichtigkeitsdifferenz der Knochen in die Augen. Die Knochen sind kalkärmer und je nach dem Gehalt ihrer Kalksalze geben sie überhaupt keinen Schatten oder nur einen geringen. Auch die ganze Architektur des Knochens ist verändert; so konnte Gocht in einem Falle von Osteomalacie konstatieren, dass der ganze architektonische Bau des Knocheninneren verschwunden war und nur hie und da einmal einige isolierte Bälkchen aufwies.

Bei der Rhachitis finden wir namentlich Veränderungen an den Epiphysenknorpeln, und zwar hauptsächlich an der gegen die Markhöhle gerichteten Grenze der Knorpelfuge. Während dieselbe beim normalen Knochen parallel laufend und geradlinig ist, ist dieselbe beim rhachitischen unregelmässig und zickzackförmig.

Des Weiteren sind auch Untersuchungen über Riesen- und Zwergwuchs, über die Skelettentwicklung und über die Störungen des Knochenwachstums bei Kretinismus mit Röntgenstrahlen angestellt, die mancherlei Aufklärungen in wissenschaftlicher Beziehung auf diesem Gebiet gebracht haben.

Auch die bei Akromegalie und bei Lepra gemachten Beobachtungen mögen hier erwähnt werden.

Kurz berührt hatten wir schon vorhin bei der Tuberkulose der Knochen und Gelenke die sogenannte Atrophie der Knochen,

eine Anomalie der Knochen, die wir erst durch die Röntgenstrahlen gefunden und kennen gelernt haben. Sudeck und Kienböck haben sich um die Erklärung dieser interessanten Erscheinung sehr verdient gemacht. Wie bereits erwähnt, finden wir eine Atrophie der Knochen bei den verschiedensten Entzündungsprozessen an den Extremitäten. Die Knochen erscheinen durchgängiger, blasser; es giebt keine scharfen, sondern nur verschwommene Bilder; die Struktur ist zarter und schwerer zu erkennen, ja bei hochgradigen Atrophien verschwindet sie ganz.

Die Atrophie wurde früher wohl fälschlich Inaktivitätsatrophie der Knochen genannt; man schrieb ihre Herkunft der langen Ruhigstellung des betreffenden Gliedes allein zu. Es handelt sich aber sicherlich nicht um eine solche Inaktivitätsatrophie allein, sondern es sind mehrere Komponenten, die hierbei mitwirken. Man neigt neuerdings allenthalben zu der Annahme hin, dass die Atrophie in erster Linie auf Circulationsstörungen infolge gewisser Vorgänge im Nervensystem, vielleicht trophoneurotischer Natur oder infolge reflektorischer Vorgänge zurückzuführen ist.

Wiederholt haben wir schon erwähnt, dass es uns mit Hilfe der Röntgenstrahlen gelingt, gewisse Architekturveränderungen des Knochensystems nachzuweisen, eine Thatsache, auf die wohl Gocht zuerst aufmerksam gemacht hat.

Es ist dies ein einfaches und bequemes Verfahren, das uns auf der einen Seite die Möglichkeit gewährt, viel feinere Strukturen zur Anschauung zu bringen, als das durch irgend eine andere Methode möglich ist, auf der andern Seite, auch das durch das Röntgenbild fixierte Präparat einer nachfolgenden genauen mikroskopischen Untersuchung zu unterziehen.

Julius Wolff machte schon 1896 auf der Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte bereits darauf aufmerksam, dass neben dem diagnostischen Hilfsmittel, das uns die Röntgenstrahlen wären, auch noch etwas anderes in Frage käme, nämlich die Bedeutung der zu verschiedenen Zeiten wiederholten Durchstrahlung eines Körperteils eines und desselben lebenden Individuums als eines Hilfsmittels zur Erforschung wichtiger, auf andere Weise viel schwerer oder garnicht zu lösender wissenschaftlicher Fragen zunächst auf dem Gebiete der Chirurgie.

Da wir mit staunenswerter Deutlichkeit nicht nur alle äusseren Veränderungen, sondern auch die innere Architektur der Knochen sehen können, haben wir in den Röntgenstrahlen ein

Untersuchungsmittel gefunden, durch welches die Lehre von den erworbenen und angeborenen Deformitäten eine wertvolle Vervollständigung gewonnen hat. Es werden uns bei den angeborenen Deformitäten, den angeborenen Defekten, den Spaltbildungen und anderen derartigen Vorkommnissen mehr die Lagerung der einzelnen Teile in situ vorgeführt, wir werden aufs genaueste über die Form, die Grösse, die Gestalt und die Architektur der vorhandenen Knochen orientiert, wir sehen aufs genaueste, welche Knochen ganz oder zum Teil fehlen, kurz wir erhalten vielfach wertvollere Aufschlüsse, als uns die Durchforschung anatomischer Präparate geben kann. Joachimsthal hat sich auf diesem Gebiete grosse Verdienste erworben durch die beiden Atlanten, die er herausgegeben hat.

Wie sehr uns die Röntgenstrahlen bei der Luxatio coxae congenita, bei der Coxa vara, bei den Ankylosen genützt haben, das werden wir noch später im speziellen Teil des Näheren erwähnen und beschreiben.

Auch Untersuchungen über die Ossifikation einzelner Skelettteile sind angestellt worden, so erst jüngst wieder in einer ausführlichen Arbeit von Hasselwander über den menschlichen Fuss, der es unbedingt für nötig erachtet, neben dem Studium der anatomischen Präparate auch die Röntgenuntersuchungsmethode anzuwenden. Er hebt zunächst als unschätzbaren Vorzug den hervor, dass es uns möglich ist, ein unbegrenztes Material von Kindern der verschiedensten Lebensalter auf den Stand der Ossifikation hin zu untersuchen, während das zugängliche Leichenmaterial gerade aus dem Kindesalter meist ein lückenhaftes ist. Ein weiterer grosser Vorteil ist der, dass dem Untersucher ein Kindermaterial von völlig normalem Ernährungszustand zugänglich gemacht wird und dass die Uebersichtlichkeit, mit der die Röntgenstrahlen die Untersuchungsobjekte wiedergeben, tadellos ist. Während nämlich bei blosser präparatorischer Untersuchung leicht der Fall eintreten kann, dass kleine oder exponiert gelegene Ossifikationszentren dem Untersucher entgehen können, ist dies bei der Klarheit der skiagraphischen Bilder nicht leicht möglich.

Dass natürlich dies Verfahren auch gewisse Nachteile den anatomischen Untersuchungen gegenüber hat, das soll nicht verschwiegen werden. Es soll ja aber auch kein Verfahren das andere verdrängen, sondern beide sollen sich ergänzen.

Ein Gebiet, auf dem es uns erst neuerdings gelungen ist, bessere Resultate durch die Röntgenuntersuchung in Bezug auf die

Darstellung zu erreichen und bessere Erfolge zu zeitigen, stellen die Nieren-, Gallen- und Blasensteine dar. Wir kommen hierauf im speziellen Teile unserer Arbeit ausführlich zu sprechen.

Spezieller Teil.

Nachdem wir nun so einen kurzen Ueberblick über die Anwendung und die Verwertung der Röntgenstrahlen auf dem Gebiete der Chirurgie im allgemeinen gegeben haben, wollen wir jetzt dazu übergehen, die einzelnen Körperteile gesondert zu betrachten und die wichtigsten anormalen Verhältnisse an diesen besprechen, soweit sie in Beziehung zu den Röntgenstrahlen stehen.

Beginnen wir mit dem

Kopf und Hals.

Eine grosse Bedeutung, ja wir möchten sagen wohl die grösste Bedeutung für den Kopf haben die Röntgenstrahlen sicherlich für den Nachweis von Fremdkörpern im Schädel, von denen in erster Linie und vornehmlich nur die Projektile in Frage kommen. Es ist sehr wohl möglich, und die vielerorts gemachten Erfahrungen haben es ja zur Genüge bewiesen, diese im Gehirn nach Grösse und Lage mit aller Sicherheit zu konstatieren.

Wie wichtig der Nachweis derartiger Geschosse und ihrer Lage, wie wichtig in gewissen Fällen ihre Entfernung ist, das ist ja sofort klar und deutlich, wenn wir bedenken, wie schwere Störungen durch solche Projektile hervorgerufen werden können. Bekanntermassen treten ja derartige Störungen nicht immer sogleich im Anschluss an die stattgehabte Verletzung auf, sondern können auch oft genug noch nach einem kürzeren oder längeren Stadium der Latenz sowohl schwere funktionelle Störungen allgemeiner Natur, wie auch lokale Prozesse in der Hirnsubstanz hervorrufen, die selbst nach den gesammelten Erfahrungen noch nach Jahren den Tod zur Folge haben können.

Es soll nun damit nicht etwa gesagt sein, dass wir jede Kugel, deren Vorhandensein und deren Lage wir mit Hilfe der Röntgenstrahlen bestimmt haben, entfernen sollen. Durchaus nicht, das wäre entschieden verkehrt. Es sind genug Fälle beobachtet, wo derartige Geschosse bis zum Lebensende des betreffenden

Trägers im Gehirn verblieben, ohne ihm irgend welche nennenswerten Beschwerden zu verursachen.

Um die Lage des Projektiles zu eruieren, macht man am besten zwei Aufnahmen, eine frontale und eine laterale, d. h. also eine hintere oder vordere und eine seitliche. Man kreuzt sodann die Durchmesser diagonal und kann auf diese Weise die Entfernung des Fremdkörpers von der Oberfläche berechnen.

Beck rät, auf beiden Skiagrammen die jeweilige Distanz vom nächsten Knochenvorsprung zu messen und dieselben mit den Verhältnissen eines normalen Schädels zu vergleichen. So lassen sich dann die Distanzverhältnisse mittelst Sondenabmessung annähernd berechnen und so gelingt es uns auch, in den Fällen, bei denen jegliche klinischen Anhaltepunkte über den Sitz der Kugel im Schädel fehlen, diesen doch mit ziemlicher Genauigkeit zu bestimmen.

Gocht hat schon in den ersten Jahren der Röntgenaera ganz mit Recht darauf hingewiesen, dass Operationen zum Zweck der Entfernung von Projektilen aus dem Schädelinnern durch die Röntgenuntersuchungsmethode wesentlich erleichtert, ja dass in vielen Fällen der chirurgische Eingriff überhaupt erst in der richtigen Weise möglich gemacht wird. Wir sind imstande, schon vor der Operation mit Hilfe der Röntgenstrahlen festzustellen, ob die vorhandenen schweren Symptome durch die augenblickliche störende Lage des betreffenden Projektils hervorgerufen werden, oder ob die Zerstörungen im Bereiche des Schusskanals und eine eventuelle Infektion die Ursache sind. Dass natürlich im letzteren Falle die Kugel in Ruhe gelassen werden muss und dass man sich bezüglich des chirurgischen Eingriffes nur nach den klinischen Symptomen zu richten hat, wenn man überhaupt einen Erfolg erwartet, das liegt wohl klar auf der Hand.

Andere Fremdkörper im Bereich des Kopfes sind gleichfalls eruierbar.

In der Tonsille eines Patienten fand man eine abgebrochene Nadelspitze, die absolut nicht auf andere Weise nachgewiesen werden konnte, so fand man eine Anzahl Nägel, die sich ein Geisteskranker in die Kopfhaut gebohrt hatte, so fand man Fremdkörper anderer Art in der Nase und in den Augen, die oft von recht, recht bescheidener Grösse sein können.

Um letztere nachzuweisen, wenigstens um ihren ungefähren Sitz bestimmen zu können, bedarf es auch wieder mehrerer Aufnahmen von verschiedenen Seiten, unter Umständen mit veränderter Stellung der Röhre, wie es Gocht angegeben hat. Der erste negative Ausfall ist noch kein Beweis dafür, dass überhaupt kein Fremdkörper im Auge vorhanden ist.

In Fällen, in denen es von Wichtigkeit ist, zu wissen, ob ein mit Hilfe der Strahlen gefundener Körper noch innerhalb des Augapfels sitzt oder ob er denselben vollständig durchbohrt hat und

hinter demselben lagert, hat Köhler sich eines ebenso einfachen als sicheren Mittels bedient, das er erst kürzlich in den Fortschritten auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen veröffentlicht hat. Er empfiehlt, zunächst zwei Röntgenaufnahmen zu machen, durch die man sich von dem Vorhandensein eines Fremdkörpers überzeugen kann. Ist dies geschehen, folgt bei Profilkopflage eine weitere Aufnahme; während derselben lässt man die Blickrichtung wechseln, und zwar nicht planlos nach beliebigen Richtungen, sondern nur nach zwei entgegengesetzten Seiten hin. Sitzt nun der Fremdkörper im Bulbus, so erhalten wir einen vervielfältigten und deshalb nicht klaren und verschwommenen Schatten jenes auf der Platte; sitzt er dagegen ausserhalb desselben, dann bleibt der betreffende Schatten einfach, scharf und stark kontrastierend.

Zur Vorsicht bei Deutung des Augenbildes mahnt Gocht im Hinblick auf einen Fall, den er beobachten konnte und bei dem, trotz der Entfernung eines metallischen Fremdkörpers aus dem Auge an derselben Stelle ein Schatten zu konstatieren war, der allerdings nicht mehr ganz so tief, aber doch von derselben Form wie der zuerst nachgewiesene war. Gocht sucht diesen so zu erklären, dass das den Fremdkörper umgebende Gewebe narbig verändert und mit Oxydationsprodukten geladen war und so trotz der Beseitigung des Fremdkörpers noch lichtabsorbierend wirkte.

Auch in der Zahnheilkunde haben wir von den Röntgenstrahlen Nutzen gezogen. Am besten verwenden wir hierbei klein geschnittene Glasplatten oder noch besser Films, die wohl deshalb den Vorzug verdienen, weil sie sich einigermassen der Kieferform anschmiegen können.

Port, der sich gerade auf diesem Gebiet grosse Verdienste erworben hat, konnte so z. B. bei Kindern die Keime der bleibenden Zähne deutlich erkennen und Anomalien der Stellung und des Durchbruchs nachweisen, Dinge, bei denen es sich allerdings in der Hauptsache um wissenschaftliche und wissenswerte Aufschlüsse handelte. Er konnte den Strahlen aber auch einen praktischen Wert abringen, indem er z. B. mit ihrer Hilfe Verkrümmungen von Wurzeln kenntlich machte, die einer Extraktion Schwierigkeiten bereiten konnten. Ueber Exostosenbildungen, über das Vorhandensein und die Lage von Wurzelstümpfen oder Sequestern im Kiefer, über die Lage abgebrochener Instrumente oder Plomben in den Wurzelkanälen, über Granulationen an der Wurzelspitze gangränöser Zähne und über andere unklare Dinge konnte er sich mit Hilfe der Röntgenuntersuchung genau orientieren.

Bei Frakturen der Schädelknochen können natürlich die Röntgenstrahlen nicht das leisten, was sie an andern Körper-

teilen gerade auf diesem Gebiet zu leisten vermögen; sie können uns hier aus begreiflichen Gründen nicht in allen Fällen befriedigenden Aufschluss geben. Das „schattenreiche Röntgenbild“ des Schädels, vor allem beim Erwachsenen, ist daran Schuld.

Es gelingt uns zwar, Frakturen der Gesichtsknochen, vor allem der Nasenknochen, der Jochbeine, der Kiefer etc. auf den Röntgenbildern darzustellen, bei andern aber gelingt es uns nur schwer, beziehungsweise garnicht.

Anders verhält es sich schon mit den Geschwülsten, bei denen uns die Röntgenstrahlen in manchen Fällen von grossem Wert sein können, da sie uns nicht nur über den Sitz, sondern auch über die Ausdehnung der betr. Geschwulst genau Aufschluss geben können. So gelang es z. B. Beck, bei einem Rundzellensarkom der Orbita den Zusammenhang mit der Orbitalwand und das Hineinwuchern in das Foramen opticum skiagraphisch nachzuweisen und so die technischen Schwierigkeiten der Operation von vornherein zu illustrieren.

Im Innern des Schädels sind Geschwülste natürlich nur unter besonders günstigen Umständen nachzuweisen.

Oppenheimer konnte bei Hypophysistumoren eine Vertiefung der Sella turcica mit Röntgenstrahlen schon mehrfach feststellen.

Auch die Tuberkulose, die Osteomyelitis, die Lues etc. werden in gewissen Fällen namentlich an den Kiefern nachweisbar sein.

Eiterungen in der Kieferhöhle und in der Stirnhöhle, beides Höhlen, die sich scharf und hell auf einem normalen Röntgenbilde abzeichnen und erkennen lassen, können sich insofern bemerkbar machen, als die erkrankte Seite gewöhnlich dann einen dunkleren Schatten zeigt als die gesunde.

Am Halse sind Frakturen des Zungenbeins und des Kehlkopfes nachzuweisen, desgleichen auch Fremdkörper im Kehlkopf, in der Luft- und Speiseröhre in ihren oberen Partien. Mit einem Schlage können wir uns mit Sicherheit davon überzeugen, dass erstens der Fremdkörper überhaupt da ist, und ferner, wo er zu suchen ist. Wir kommen noch näher im folgenden Kapitel darauf zu sprechen.

Selbst die Kropfformen lassen sich in den meisten Fällen auf den Röntgenbildern unterscheiden, in denen wir auch hier wieder nach Becks Erfahrungen ein treffliches Hilfsmittel gefunden haben.

Die Feststellung des Kropftypus, die doch in einer Anzahl von Fällen weder durch Inspektion oder Palpation, noch durch das Laryngoskop möglich ist, ist doch immerhin für die Therapie von Bedeutung.

Es ist Beck und andern gelungen, bei den sehr häufigen cystischen und fibrösen Formen die Kalkablagerungen als sehr deutlich markierte Schatten darzustellen. Der Cystenkropf zeigt im Frühstadium weniger deutliche, aber immerhin noch wohl erkennbare rundliche oder elliptische Schatten, später oft diffuse Kalkherde.

Nach Becks Ansicht ist deshalb in den Fällen, in denen die Strahlen das Vorhandensein von Kalkherden nachgewiesen haben, weder von der Injektions- noch von der Organtherapie etwas zu erwarten, da sich doch bekanntermassen nur die folliculären und kolloiden Formen besonders dazu eignen. Hier soll dann das Messer in seine Rechte treten.

Durch das Röntgenbild lässt sich auch feststellen, wie weit retrosternale Strumen reichen.

Dass es Beck auch gelungen ist, verkäsende Halsdrüsen, namentlich wenn sie kalkige Beimischungen enthalten, deutlich darzustellen, soll hier der Vollständigkeit wegen nur erwähnt werden.

Auf die Erkrankungen bezw. Verletzungen der Halswirbelsäule wollen wir hier nicht näher eingehen, da dieselben in einem gesonderten Kapitel noch später besprochen werden sollen. Nur möchten wir noch auf eine Eigentümlichkeit aufmerksam machen, die erst in der jüngsten Zeit die Aufmerksamkeit der Chirurgen auf sich gezogen hat; es ist die sogenannte Halsrippe, eine überzählige Rippe, die stets dem siebenten Halswirbel angelagert ist und mit ihm meist in gelenkiger Verbindung steht. Das Röntgenbild lässt sie natürlich deutlich erkennen und hat uns gezeigt, dass sie häufig doppelseitig vorkommt, jedoch auch einseitig vorhanden sein kann. Wir können diese Deformität des öftern als zufälligen Befund erheben, da sie mitunter keine Beschwerden macht. Sie kann aber auch Beschwerden machen durch Aenderung der Circulation und durch nervöse Störungen, die mit der Zeit selbst zu schwinden pflegen, in manchen Fällen aber auch so heftig und anhaltend sein können, dass das einzige und sicherste Mittel, diese zu beseitigen, in Anwendung gezogen werden muss: die Resektion der Rippe.

Brust und Bauch.

Vorausschicken möchten wir auch hier, dass wir die Verletzungen und Erkrankungen der Wirbelsäule erst im nächsten Abschnitt besprechen werden.

Für den Chirurgen kommen auch bei der Brust und beim Bauch zunächst wieder in erster Linie die Fremdkörper in Betracht. Es kann sich um Geschosse handeln, die im Inneren oder in den Wandungen des Brustkorbes sitzen. Wir sehen deutlich, ob sie auf den Rippen aufsitzen oder nicht, wir sehen auch, ob die Rippen unverletzt sind, wir sehen etwaige von diesen abgesprengte Knochensplitter, die wir dann entfernen können.

Am besten werden die Brustaufnahmen bei angehaltenem Atem gemacht, was ja heute bei der kurzen Expositionszeit keine Schwierigkeiten bereitet.

Rippenfrakturen lassen sich mit Hilfe der Röntgenstrahlen gut darstellen und können nicht übersehen werden, desgleichen auch Frakturen des Schlüsselbeins, bei denen wir vor allen Dingen leicht kontrollieren können, ob der angelegte Verband die Bruchstücke auch gut aneinander adaptiert hält. Weiterhin geben uns die Röntgenstrahlen Aufschluss über Neubildungen an der Brustwand.

Wir können genau konstatieren, wie weit jene bereits vorgeschritten sind, und können dann darnach unseren Operationsplan bestimmen und festsetzen. Auch mediastinale Geschwülste sind nachgewiesen worden und des öftern schon der Sitz einer Oesophagusstenose mit Hilfe der eingeführten Sonde.

In zweiter Linie kommen dann die Fremdkörper in Betracht, die ihren Sitz in den Bronchien, bezw. in der Speiseröhre haben können und die natürlich so bald als möglich und auch so schonend als möglich entfernt werden müssen.

Verschluckte Hemdenknöpfe in den Bronchien, verschluckte Gebisse im Oesophagus konnten so nachgewiesen werden; unter der fortwährenden Kontrolle des Durchleuchtungsschirmes wurde die Entfernung desselben vorgenommen unter Anwendung der in Frage kommenden Instrumente, deren Bewegungen und deren Gang man genau verfolgen konnte. Wir sehen deutlich das Vordringen der Sonde und sehen auch deutlich, sobald dieselbe den betreffenden Fremdkörper erreicht und berührt. Jedes planlose und unnötige Stossen und Herummanipulieren wird dadurch vermieden.

Man sollte sich heutzutage deshalb die Vorteile nicht entgehen lassen und immer in derartigen Fällen diese Untersuchungsmethode anwenden.

v. Hacker will die Untersuchung mit Röntgenstrahlen be-

sonders dann angewendet wissen, wenn die Sondenuntersuchung bezw. die Oesophagoskopie aus gewissen Gründen kontraindiziert ist, z B. bei Erscheinungen von Phlegmonen und namentlich auch, wenn nach stattgehabter Perforation des Oesophagus der Körper schon ausserhalb derselben gelagert ist. In solchen Fällen kann man mit anderen Untersuchungsmethoden wohl die Perforationsstelle im Oesophagus nachweisen, nicht aber den Körper selbst.

Dass auch das Röntgenverfahren zu Fehlschlüssen führen kann, hat Sprengel gezeigt, der auf Grund des Röntgenbildes eine im linken Bronchus steckende Nadel zunächst im Oesophagus suchte. Wir müssen deshalb auch hier mit aller Vorsicht und Genauigkeit den Sitz des Fremdkörpers mit den uns zu Gebote stehenden und bereits erwähnten Mitteln zu erforschen suchen.

Auch im Magen und Darm befindliche Fremdkörper lassen sich gut auf der Platte darstellen und lassen sich leicht erkennen, wenn sie auch öfters etwas vermischt und unscharf erscheinen infolge der respiratorischen Verschiebung und gelegentlich auch infolge der peristaltischen Bewegungen des Magens oder Darms. Die sonderbarsten Fremdkörper sind auf diese Weise schon nachgewiesen worden. Vor allen Dingen hat man auch den Murphyknopf auf seinen Wanderungen durch den Darm verfolgt. Man kann feststellen, ob er in den Magen zurückfällt, ob er lange in der Anastomose stecken bleibt, wo er bekanntlich ja dann gewisse Störungen verursachen kann, oder ob er sich vorzeitig gelöst hat. Ist er nicht mehr auf der Platte sichtbar, nun dann ist er sicherlich per vias naturales davongegangen, auch wenn er nicht etwa von den nicht immer achtsamen Wärtern etc. in den Faeces gefunden wurde. Derartige Fälle sind beobachtet.

Zu den Fremdkörpern in den Unterleibsorganen müssen wir auch die Blasen-, Gallen- und Nierensteine rechnen, deren Darstellung mit zu den schwierigsten Aufgaben des Arztes gehört, ja deren Darstellung bis vor kurzem fast nie gelingen wollte, abgesehen natürlich von den Blasensteinen, die selbst im Anfang der Röntgenaera des öftern schon nachgewiesen werden konnten. „Wenn wir auch reiche Hilfsmittel besitzen, um die Steine der Blase dem Auge und der fühlenden Hand erkennbar zu machen, so möchte ich es doch für nicht unwesentlich halten, wenn man auf schmerzlose Weise, ohne jede Belästigung des Kranken, den Inhalt der Blase, soweit es sich um Steine handelt, auf der photographischen Platte

dem Gesichtssinne je nach ungefährer Grösse, Gestalt und Zahl zugänglich macht.“ Dies sind Kümmells Worte, die wir Wort für Wort unterschreiben wollen und können.

Nicht so leicht gelang die Darstellung der Gallen- und Nierensteine. Erst die neuere Zeit brachte mehr Erfolge und liess deutlich die Fortschritte erkennen, die wir auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen auch hierbei mit der verbesserten Technik gemacht hatten.

Dass natürlich die Zusammensetzung der Steine auf die Schärfe des Bildes von Einwirkung ist und dass die Darstellungsfähigkeit in einem gewissen Verhältnis zur Dichtigkeit steht, das ist wohl ohne jeden Zweifel; diese Zusammensetzung nun aber allein verantwortlich zu machen für die negativen Resultate, wie man das früher that, davon ist man wohl heute abgekommen. und Albers-Schoenberg hat erst kürzlich wieder darauf hingewiesen, dass die noch immer mangelhafte Technik daran schuld ist, wenn auch gewisse nicht zu unterschätzende Nebenumstände noch hinzukommen, wie die Beleibtheit der Patienten, die Winzigkeit der gesuchten Steine u. a. m.

Versuche, die Beck betreffs der Transparenzverhältnisse der Gallensteine anstellte, ergaben folgende Resultate:

Die am häufigsten vorkommenden gemeinen Gallensteine, die bekanntlich eine harte Aussenseite und einen weichen Kern haben, lassen sich ziemlich gut erkennen, wenn die Aussenschicht dicht ist; ist sie aber dünn, so sind dieselben gerade noch angedeutet.

Die reinen Cholesterinate sind weniger transparent und zeigen deshalb auch deutlichere Linien.

Bei den geschichteten Cholesterinsteinen kann man auf ein sehr deutliches Skiagramm rechnen, namentlich wenn grössere Mengen von kohlensaurem Kalk vorhanden sind.

Die Transparenz der gemischten Bilirubinkalksteine ist geringer als die aller vorher beschriebenen Formen, und deshalb geben diese auch die besten Bilder.

Bei den Nierensteinen kommt nach Albers-Schoenberg und Anderen, gleiche Dichte der zu vergleichenden Steine natürlich vorausgesetzt, den oxalsauren Steinen das höchste Absorptionsvermögen zu; an zweiter Stelle stehen die Phosphatsteine und an dritter die harnsauren, die in einzelnen Fällen infolge ihres Kalkgehalts recht gut darzustellen sind. Xanthin- und Cystinsteine sollen die ungünstigsten Verhältnisse darbieten.

Bezüglich der Technik verweise ich auf die entsprechenden Kapitel dieses Buches.

Aus einem negativen Ausfall einer Gallensteinaufnahme dürfen natürlich noch keine voreiligen Schlüsse gezogen werden; sie ist noch nicht beweisend dafür, dass derartige Steine überhaupt noch nicht vorhanden sind; dagegen ist nach Becks Erfahrungen ein deutliches Nierenskiagramm, welches keine Anzeichen von Steinen aufweist, als ausschlaggebend zu betrachten.

Wirbelsäule.

Mit Ausnahme der Brustwirbelsäule beherrschen wir das ganze Gebiet der Wirbelaufnahmen. Die Technik der Aufnahmen ist namentlich durch das Blendenverfahren gefördert worden. (Vgl. III. Teil.)

In erster Linie kommen auch bei der Wirbelsäule die Verletzungen derselben als für das Röntgenverfahren sehr geeignet in Betracht. Wie schwer es oft gelingt, diese genau zu diagnostizieren, ja wie oft es unmöglich ist, zu unterscheiden, ob es sich um blosse Distorsionen oder Frakturen handelt, das bedarf keiner weiteren Erwähnung. In den Fällen, wo jede Inspektion, jede Palpation, kurz jede andere Untersuchungsmethode versagte, wo wir also nur Vermutungsdiagnosen stellen konnten, in diesen Fällen präcisieren die Röntgenstrahlen genau die Art und den Sitz der Verletzung, mag sie auch noch so gering sein. Die Kreuz- und Rückenschmerzen, für die wir früher keine Anhaltspunkte finden konnten und die oft genug selbst auch dem besten Chirurgen einiges Kopfzerbrechen machten, lassen sich heutzutage leicht erklären. Wir erkennen die Distorsionen, die Luxationen, die Frakturen in ihren verschiedenen Arten und können sofort die richtige Therapie einleiten, da auch hier wie überall der oberste Grundsatz gilt, dass die Heilung um so besser ist, je schneller die richtige Therapie angewendet wird.

Bei Aufnahmen von vorn nach hinten erkennen wir bei Luxationen die Verschiebung der Dornfortsätze; die transversale Durchleuchtung zeigt das Vorstehen des luxierten Wirbelkörpers. Bei allen Luxationen können wir unterscheiden, ob es sich um bindegewebige oder knöcherne Verwachsungen handelt, die ja beim Versuch einer Einrenkung mit Rücksicht auf das Mark leicht gefährlich werden können. In solchen Fällen werden wir natürlich

jeden kräftigeren Versuch vermeiden und lieber die Luxation bestehen lassen, da ja der Zustand trotz des Bestehenbleibens derselben ein erträglicher sein kann. In jedem Falle ist es auch von grosser Wichtigkeit, genau festzustellen, ob es sich nur um eine Luxation handelt oder ob dieselbe auch noch mit einer Fraktur kombiniert ist, oder ob wir es lediglich nur mit einer Fraktur zu thun haben.

Bei den isolierten Wirbelkörperfrakturen handelt es sich fast ausschliesslich um sogen. Kompressionsbrüche. Die Continuität des Wirbels kann im Ganzen erhalten bleiben, er verändert dann nur seine Form. Es können aber auch wirkliche Fragmente vorhanden und herausgebrochen sein. Isolierte Frakturen der Wirbelbögen, der Dorn- und Querfortsätze sind leicht nachzuweisen. An der Halswirbelsäule sind dieselben ungleich häufiger als an den andern Abschnitten.

Wir können derartige Verschiebungen deutlich nachweisen und müssen diese, sobald sie eine dauernde Compression auf das Mark ausüben, am besten auf operativem Wege entfernen, wobei uns auch wieder die Röntgenstrahlen gute Dienste leisten können. Früher musste man einen grossen Teil der Wirbelsäule freilegen, damit ja nichts dem Auge des Operateurs entging, heute genügt ein kleiner Schnitt, nachdem wir uns vorher durch eine Röntgenaufnahme über den Typus, den Sitz, die Grösse, kurz über alle Einzelheiten der bestehenden Verletzung orientiert haben.

Oft sind die Symptome derartiger Verletzungen so gering, dass diese übersehen werden können, zumal wenn noch andere Verletzungen vorhanden sind, wie das ja so häufig vorzukommen pflegt. Die Fraktur wird dann erst bemerkt, wenn der Patient seinen ersten Aufstehversuch macht. Eine Restitutio ad integrum erfolgt so nur in Ausnahmefällen; es bleiben dann gewöhnlich Folgen zurück. Oft nicht nachweisbare Deformitäten können mitunter mehr Beschwerden machen, als deutlich nachweisbare Veränderungen, und es wäre wahrlich nicht der erste Patient, der so trotz dauernder Klagen in den Verdacht zum mindesten einer Uebertreibung kommen könnte. In allen solchen Fällen sollten wir nie auf die Röntgenuntersuchung verzichten; manches deckt sich uns auf, was wir nicht vermutet hatten.

Ferner können die Röntgenstrahlen aufklärend wirken bei Schussverletzungen, die oft zu Frakturen und Absprengungen die Veranlassung geben und an die wir uns operativ heranmachen

müssen, wenn sie eine Compression oder Contusion des Marks hervorrufen. Wir sehen, ob das Projektil im Wirbelkörper stecken bleibt, ob Splitter vorhanden sind oder nicht, wenigstens in gewissen Fällen, da doch losgelöste Knochensplitter im Wirbelkanal festzustellen sehr schwierig ist.

Gehen wir nun zu den Erkrankungen der Wirbelsäule über, so ist es von diesen die Spondylitis tuberculosa, die uns am meisten interessiert, da sie ja von allen entzündlichen Erkrankungen die bei weitem häufigste ist, eine Erkrankung, die fast immer die Wirbelkörper befällt, und zwar zunächst als rein ostaler Prozess. Viel seltener werden die Wirbelbögen befallen. Anstatt eines Herdes können sich auch zwei oder mehrere in verschiedenen Abschnitten der Wirbelsäule gleichzeitig entwickeln. Wir sehen dann an den befallenen Partien hellere, wolkig getrübte Stellen und in der Umgebung oft noch strangartige oder mehr rundliche Verdickungen, die von schwieligen und tuberkulös eingedickten Massen herrühren. Die Zwischenwirbelscheiben erscheinen weniger durchlässig.

Wir erhalten genau Aufschluss über den Sitz, über die Ausdehnung des Prozesses, sowie auch über die Art und den Grad der Zerstörung des Knochens und der vorhandenen Deformität. Eine ausgedehnte Caries lässt eine hochgradige Aufhellung der Knochensubstanz erkennen, ja manchmal ein völliges Fehlen derselben. In manchen Fällen erscheinen die Knochen an ihren Rändern gleichsam angenagt und zerfassert, in manchen können wir auch Synostosen benachbarter Körper konstatieren.

Selbst die kalten Abscesse sind bildlich darzustellen, und wie wir bereits im allgemeinen Teil erwähnten, gelingt es uns sogar, durch Jodoformglycerininjektionen die Gänge und die Wege dieser nachzuweisen, die durch lange schmale deutliche Schattenstreifen kenntlich gemacht werden.

In Fällen, in denen die klinischen Symptome noch nicht sehr ausgesprochen sind, sind wir oft genug imstande, die Diagnose durch die Röntgenstrahlen zu sichern.

Auch die akute Osteomyelitis wäre hier zu erwähnen. Sobald wir diese diagnostiziert, sobald wir uns genau über den Sitz und die Ausdehnung orientiert haben, dann müssen wir operativ vorgehen, um den Eiter zu entleeren.

Ueber die Spondylitis traumatica, über die ankylo-

sierende Entzündung der Wirbelsäule, über alle diese können wir uns mit Hilfe von Röntgenaufnahmen Aufklärung verschaffen und Aufschluss holen. Wir sehen bei der letzteren genau die Formen der Wirbel, auch die Zwischenbandscheiben, und sehen deutlich, wie sich, um Sudecks Worte zu gebrauchen, im Bogen tiefschattende Knochenspangen auspannen, die den einen Wirbel mit seinem Nachbar wie ein Brückenbogen verbinden. Ausserdem scheint auch eine Rarefikation sämtlicher Knochenteile als regelmässiger Befund vorzuliegen.

Von grossem Vorteil ist es natürlich für die einzuschlagende Therapie, Aufnahmen bei Wirbelsteifigkeiten zu machen, um zu sehen, ob es sich um wahre Ankylosen handelt oder nicht. Nur so sind wir imstande, festzustellen, ob eine orthopädische Behandlung noch Nutzen bringen kann.

Dass es auch möglich ist, bösartige Geschwülste, Carcinome, Sarcome, Gummata bezw. metastatische Prozesse solcher nachzuweisen, haben wir schon kurz erwähnt.

Gocht gelang es, bei einer Dame mit Mammacarcinom eine Metastase an den ersten drei Brustwirbeln röntgographisch darzustellen, die durch spinale Symptome vermutet wurde.

Die malignen Tumoren dokumentieren sich als runde Schatten auf den Röntgenbildern und sind oft, wie Sudeck erst kürzlich wieder hervorgehoben hat, differentialdiagnostisch schwer von kalten Abscessen zu unterscheiden. Letztere erinnern in manchen Fällen, nach den von ihm gemachten Erfahrungen, oft, dem Modus ihrer Entstehung entsprechend, an die Form eines hängenden Sackes mit einem unteren bauchigen Teil und einem manchmal streifenförmig ausgezogenen Halsteil.

Auch bei der Erkennung und Messung von Skoliosen können wir die Röntgenstrahlen verwenden. Wir haben schon auf dem Chirurgen-Kongress im Jahre 1897 hervorgehoben, dass sich der Grad der Skoliosenverkrümmung nicht nur feststellen lässt, sondern auch die Torsion der Wirbelkörper. Der Grad der skoliotischen Verkrümmung steht sehr oft in einem grossen Missverhältnis zu der Deviation der Dornfortsätze. Auch für die Behandlungserfolge sind die Röntgenstrahlen von Wert. Wir haben damals schon zwei Bilder demonstriert, auf denen deutlich zu sehen war, dass die ursprüngliche Skoliose geschwunden war. Die Wirbelsäule verlief ganz gerade und zeigte eher sogar eine leichte Krümmung nach der entgegengesetzten Seite.

Die Orientierung auf derartigen Bildern des skoliotischen Rumpfes kann man sich noch wesentlich nach Joachimsthals Vorschlag durch Einschaltung eines Fadennetzes mit Zahleneinteilung erleichtern.

Wir haben also in den Röntgenstrahlen ein ganz ausgezeichnetes Mittel, den jeweiligen Status praesens der Skoliose genau zu fixieren.

Bade lässt skoliotische Kinder vor dem Röntgenapparat Detorsionsübungen machen, um zu sehen, inwieweit überhaupt eine „Deskoliosierung" der bestehenden Skoliose möglich ist.

Dass sich manchmal die Ursache einer Skloliose unter Zuhilfenahme der Röntgenstrahlen feststellen lässt, beweist ein von Busch beschriebener Fall, bei dem der eigentümlich hohe Sitz der Skoliose, sowie die Verschiebung der Schulterblätter auffiel. Es wurde eine Röntgenaufnahme gemacht und auf der Platte war eine Fraktur eines Dorsalwirbels deutlich nachweisbar, die jedenfalls ungefähr sechs Jahre vorher durch einen Fall aus dem Bett verursacht, aber ganz symptomlos verlaufen war. Busch empfiehlt deshalb die jedesmalige Anfertigung einer Röntgenphotographie von jeder sich neu vorstellenden Skoliose und ist der Ansicht, dass sich wohl öfters solche in der Kindheit erlittenen, symptomlos verlaufenden Infraktionen als Ursache für die bestehende Deformität entdecken lassen.

Auch wir konnten bei einem Fall von angeborener Skoliose im Röntgenbilde als Ursache der Verkrümmung einen überzähligen Wirbel finden, der in Form eines Keils zwischen dem letzten Brust- und ersten Lendenwirbel eingeschaltet war.

Auch angeborene Missbildungen, die Spina bifida in ihren verschiedenen Graden und Abstufungen lassen im Röntgenbilde schätzenswerte Details erkennen, auf die wir hier aber nicht näher eingehen wollen, weil sie eigentlich mehr wissenschaftliches als praktisches Interesse bieten.

Schulter und obere Extremität.

Um das Schulterblatt recht deutlich auf der Röntgenplatte erscheinen zu lassen, legen wir den Patienten am besten in Rückenlage und erhalten dann die Scapula auf dem Bilde als einen dreieckigen Schatten, der sich scharf von den Rippenkonturen abhebt und an dem die einzelnen Abschnitte deutlich zu erkennen sind.

Von den in Betracht kommenden Affektionen möchten wir zunächst den angeborenen Hochstand des Schulterblattes erwähnen, eine Deformität, über die gerade in der letzten Zeit viel geschrieben worden ist und deren Verhältnisse sich sehr instruktiv auf dem Röntgenbilde gestalten. Die Skiagramme liefern uns nicht nur den einwandfreiesten Nachweis für die Unabhängigkeit der Verschiebung von einer entsprechenden Wirbelsäulenverkrümmung, sondern orientieren uns auch genau über den Grad der Deformität und die Irrtümlichkeit in der dem klinischen Bilde nach naheliegenden Annahme einer Exostosenbildung.

Weiter kommen für die Röntgenstrahlen die Frakturen der Scapula in Betracht. Eine exakte Diagnose ist bei der Mannigfaltigkeit der hierhergehörigen Frakturformen nicht leicht, zumal wenn noch starke Blutergüsse und Schwellungen vorhanden sind. Die Röntgenstrahlen sind uns auch hier wieder zu einem nie versagenden Hilfsmittel geworden und zeigen uns deutlich die Art und den Sitz einer etwa vorhandenen Fraktur, mag sie nun den Körper, den Winkel, den Hals, das Akromion, den Processus coracoideus oder die Gelenkfläche betreffen, mag es sich um eine Fissur oder Fraktur ohne und mit Dislocation handeln. Selbst die schwer zu diagnosticierenden Längs- und Doppelfrakturen können uns heutzutage hinsichtlich der Diagnose keine Schwierigkeiten mehr bieten, auch wenn alle sonstigen charakteristischen Symptome fehlen sollten.

Namentlich bei Frakturen des Gelenkteils, bei Absprengungen einzelner Randstücke können uns die Röntgenstrahlen nicht nur im Hinblick auf die Diagnose, sondern auch im Hinblick auf die Therapie wesentliche Dienste leisten. Wir erinnern nur an die Abquetschungen des ganzen Gelenkteils. Wie oft sind diese mit Luxationen verwechselt worden! Eine genaue Diagnose ist bei diesen eigentlich nur durch das Skiagramm möglich.

Auf einen Befund bei den Schulterbildern möchten wir noch aufmerksam machen, der namentlich, wie Kümmell und Beck bereits hervorgehoben haben, in der ersten Zeit der Röntgenaera wiederholt zu Irrtümern Veranlassung gegeben hat. Es ist dies der oft auffallend grosse Spalt im Acromio-Clavicular gelenk, wie er des öftern bei ganz normalen Verhältnissen beobachtet werden kann.

Weiter kämen dann in Frage die Schussfrakturen, die Tumoren und andere Erkrankungen des Schulterblattes, die sich

auch im Röntgenbilde deutlich darstellen lassen und über die wir schon im allgemeinen Teil gesprochen haben.

Das Schultergelenk ist, wie Beck treffend bemerkt, schon seit Alters her eine wahre Crux medicorum gewesen. Wie schwer es oft ist, namentlich bei geschwollener Umgebung in gewissen Fällen eine Diagnose zu stellen, das hat selbst der beste Chirurg schon erfahren müssen. Oft wird auch schon jede genauere Untersuchung von vornherein erschwert bezw. ganz illusorisch gemacht, wenn es sich um empfindliche Patienten handelt, ja selbst kräftige und weniger empfindliche setzen unbewusst bei der stets vorhandenen heftigen Schmerzhaftigkeit der Untersuchung immer einen gewissen Widerstand entgegen und spannen unbewusst die Muskulatur an.

Wieviel verschiedene Verletzungen kommen hier in Frage und wie unschlüssig und ratlos standen wir früher diesen gegenüber. Es war oft nur möglich, Wahrscheinlichkeitsdiagnosen zu stellen. Dass so die Therapie des öftern nicht immer die richtige sein konnte, das liegt wohl klar auf der Hand. Steifigkeiten und Ankylosierungen im Gelenk, erhebliche Funktionsstörungen der ganzen Extremität waren natürlich die unausbleiblichen Folgen.

Heute ist das anders geworden. Eine Aufnahme genügt, um uns genaue Auskunft zu geben, ohne auch nur dem Patienten die geringsten Schmerzen zu verursachen.

Wir sehen zunächst, ob es sich um Frakturen oder Luxationen handelt, wir sehen den genauen Sitz und können auch an der Hand des Röntgenbildes die Therapie bestimmen.

Unter den Frakturen am oberen Humerusende, die vor der Entdeckung der Röntgenstrahlen schwer, manchmal überhaupt nicht zu diagnostizieren waren, sind vor allen Dingen zu erwähnen die Absprengung des Tuberkulum majus, eine Fraktur, die garnicht so selten zu sein scheint, wie man früher annehmen zu müssen glaubte, sodann die eingekeilten Brüche im anatomischen Halse, da diese ohne charakteristische Symptome einherzugehen pflegen.

Jacob konnte stets, wenn die Kontusion einer Schulter mit einer „traumatischen Periarthritis“ sich komplizierte, auf skiagraphischem Wege nachweisen, dass eine Fraktur des Tuberkulum majus Humeri vorlag. Diese Art Frakturen, die häufig nur erkennbar sind, wenn die Bilder beider Schultern genau miteinander verglichen werden, nennt er „Fractures parcellaires“.

Sie zeigen nur geringe Dislocation, entstehen, wenn die Schulter bei einem Sturz direkt auf den Boden schlägt, und ihre Existenz ist wahrscheinlich, wenn ein besonders schmerzhafter Punkt des Akromions zu konstatieren ist und ein Hämatom an der Aussenseite der Schulter besteht. Näheren Aufschluss wird uns natürlich immer erst das Röntgenbild bringen können.

Auch die gleichzeitige Luxation des frakturierten Gelenkkopfes bietet grosse Schwierigkeiten; nur in den Fällen, die ganz frisch in die Hand des Arztes kommen, lässt sich mit Hilfe der alten Untersuchungsmethoden die Diagnose stellen. Sobald aber Schwellung auftritt, ist es unmöglich, zumal da ja durch Muskelzug das untere Fragment in die Cavitas glenoidalis gezogen werden kann und dadurch die Pfanne ausgefüllt erscheint.

Epiphysenfrakturen bei Kindern, deren Symptome hie und da keine beträchtlichen sind, bei denen die Dislocation oft sehr gering, die Schulterwölbung erhalten sein kann, da ja der Gelenkkopf an normaler Stelle bleibt, können, wenn wir uns der Röntgenstrahlen bedienen, nicht mehr falsch gedeutet werden, ein Vorteil, der garnicht hoch genug angeschlagen werden kann, wenn wir bedenken, dass doch schon, wenn auch die Prognose im grossen und ganzen eine ziemlich günstige ist, Fälle genug eingetreten und beobachtet sind, in denen eine Heilung mit Dislocation erfolgte, infolgedessen beträchtliche Wachstumsstörungen und starke Verkürzungen zurückbleiben konnten.

Haben wir die Diagnose bei derartigen Fällen mit Hilfe der Röntgenstrahlen festgestellt, so ist es unsere nächste Aufgabe, die bestehende Dislocation zu beseitigen, und wir sollen selbst nicht vor einem blutigen Eingriff zurückschrecken, sobald uns das Röntgenbild klar gemacht hat, dass uns dies auf andere Weise nicht möglich ist.

Auch Brüche hinter der Cavitas glenoidalis sind nicht so selten, wie man vor der Röntgenaera annahm. Dieselben kommen, ebenso wie die Frakturen des Tuberkulum majus häufig als Komplikationen bei hohem Knochenbruch des Oberarms bezw. bei Luxationen desselben vor.

Dass auch selbst veraltete Luxationen noch Schwierigkeiten hinsichtlich der Diagnose machen können, wenn auch keine Schwellung mehr das Gebiet verdeckt, darauf hat schon Schreiber hingewiesen, der dringend rät, bei jeder, auch bereits diagnostizierten,

veralteten Luxation eine Röntgenaufnahme zu machen, um über eventuelle Exostosen, Absprengungen etc. genau unterrichtet zu sein, die unter Umständen bei vorgenommenen Repositiosversuchen Gefässe und Nerven gefährden können. Dringende Vorsicht und Individualisierung erscheint deshalb am Platze.

Bei habituellen Luxationen, für deren Zustandekommen man früher im wesentlichen die Gelenkweichteile verantwortlich zu machen pflegte, können auch die knöchernen Gelenkenden beteiligt sein, was wohl zur Genüge aus einer im Jahre 1898 erschienenen Veröffentlichung Frankes hervorgeht, der bei 18 Fällen 16 mal Defekte von grösserer oder geringerer Ausdehnung an den Gelenkenden feststellen konnte. Auch die jüngst von Wendel aus der Marburger Klinik veröffentlichten drei Fälle von habitueller Schulterluxation wiesen sämtlich einen Knochendefekt auf, der von wesentlicher Bedeutung für das Zustandekommen der Reluxationen sein musste.

Somit können wir auch diese Art von Luxationen in das Gebiet unserer Betrachtungen hineinziehen. Wir werden in manchen Fällen den Grund mit Hilfe der Röntgenstrahlen für diese ausfindig machen können, und so wird uns der Weg zum operativen Handeln gewiesen. Abrisse des Tuberculum majus, Veränderungen an den Gelenkenden, die sowohl Humerus, Kopf und Pfanne betreffen können, abgesprengte Stücke, wenn sie auch noch so klein, sind des öftern schon als freie oder gestielte Gelenkkörper nachgewiesen.

Des Weiteren kommen in Betracht die Geschwülste, namentlich die bösartigen, und von diesen in erster Linie die Sarkome, deren Symptome anfangs nur in geringen unbestimmten Schmerzen bestehen können, so dass Fehldiagnosen nicht zu den Unmöglichkeiten gehören und gewiss schon manch' ein beginnendes Sarkom als rheumatische Erkrankung angesehen wurde. Von wie grossem Nutzen für den Patienten die Frühdiagnose „Sarkom" ist, das bedarf ja eigentlich nicht eines Wortes der Erwähnung.

Auch für die Schultergelenkserkrankungen, namentlich für diejenigen tuberkulöser Natur, sind die Röntgendurchleuchtungen von grossem Wert. Wir haben schon im allgemeinen Teil darüber gesprochen und würden uns hier nur wiederholen, wollten wir des Näheren darauf eingehen. Bei den leisesten Bewegungsstörungen, verbunden mit andauernden Schmerzen, sollten wir deshalb nie versäumen, eine Röntgenaufnahme der betreffenden Schulter

zu machen, die in vielen Fällen die Diagnose sichern und somit auch Anhaltepunkte für eine erfolgreiche und zweckmässige Therapie geben kann.

Gehen wir nun zu den Frakturen des Humerusschaftes über.

Wenn diese auch ohne Zuhilfenahme der Röntgenstrahlen zu diagnostizieren sind, so sollten wir selbst hierbei diese neue Untersuchungsmethode nicht ganz bei Seite schieben. Oft genug wird sie uns Aufschluss geben über die genaueren Details der Brüche, über ihre Neigung zur Dislocation u. dergl. m., vor allem aber wird sie uns ein treuer Helfer und Ratgeber sein während der Behandlung und wird manche Deformität erkennen lassen, die nur zu leicht dem palpierenden Finger entgehen konnte.

Bei Nervenverletzungen, die ja bekanntermassen gerade häufig im Gefolge von Humerusfrakturen beobachtet werden an der Stelle hauptsächlich, an der der Radialis dem Knochen dicht anliegt und spiralförmig umkreist, kann uns das Röntgenbild oft den Grund für die bestehenden Lähmungen erkennen lassen. Wir sehen Knochenkanten, die den Nerv anspiessen bezw. über die der Nerv abgeknickt sein kann, wir sehen derbe und starke Kallusmassen, die auf den Nerv drücken können, und wir können so helfend eingreifen und die veranlassenden Momente entfernen.

Ferner kann uns bei den am Humerus häufiger vorkommenden Pseudarthrosen die Durchleuchtung über die Details des anatomischen Verhaltens und die eventuellen Ursachen gut Aufschluss und bei deform geheilten Frakturen des Schaftes, deren Folgen oft ziemlich erhebliche sind und schwere Funktionsstörungen veranlassen können, Anleitung geben, wie man am besten alledem auf operativem Wege abhelfen kann.

Auch die Osteomyelitis, bei der es ja vor allen Dingen darauf ankommt, möglichst schnell einzugreifen, erkennen wir durch die Röntgenstrahlen schon frühzeitig genug an den Röhrenknochen der oberen Extremität.

Von den Tumoren sind es auch hier wieder vor allem die Sarkome, die mit ihrer schlechten Prognose in Frage kommen. Sie haben ihren Sitz meist am oberen Ende, seltener in der Mitte der Diaphyse und am seltensten am unteren Ende des Humerus und können als myelogene bezw. periostale unterschieden werden, von denen ja erstere bekanntlich als relativ gutartig angesehen werden

können. Sie können nach Schreiber den Eindruck von Periostitis, Osteomyelitis und Tuberkulose machen. Vor allen Dingen werden die Fälle grosse diagnostische Schwierigkeiten bereiten, bei denen das benachbarte Gelenk frühzeitig mitaffiziert ist.

Bei keinem andern Gelenk sind die Frakturen und Luxationen so verschieden, so mannigfaltig und so zahlreich, als gerade beim Ellenbogengelenk. Es würde uns zu weit führen und den Rahmen dieser Arbeit weit überschreiten, wollten wir alle die Frakturen und Luxationen, die hier vorkommen können und beobachtet sind, einzeln aufführen und besprechen. Wie schwer sind oft die Symptome der einzelnen Arten auseinander zu halten und wie wichtig ist doch wieder eine richtige und exakte Diagnose für die einzuleitende Therapie!

Wir erinnern hier nur an die Absprengungen, an die T-Frakturen, an die Infraktionen, an die Brüche des unteren Humerusendes, die oft genug Veranlassung gaben zu Verwechselungen mit Luxationen der Vorderarmknochen nach hinten, wir erinnern ferner an die verschiedenen Frakturen des Olecranon und des Radius, an die verschiedenen Luxationen der einzelnen Knochen, sie alle zu erkennen und genau zu diagnostizieren sind wir heute mit Hilfe der Röntgenstrahlen imstande.

Jedoch auch hier sind Irrtümer manchem nicht erspart geblieben, und bevor man an die Deutung von pathologischen Röntgenbildern dieser Gegend herangeht, sollte man sich erst genau orientieren über die normalen Verhältnisse, und zwar über die normalen Verhältnisse in den verschiedenen Lebensaltern, denn die Röntgenbilder des kindlichen Gelenkes sind von denen des Erwachsenen infolge der unvollendeten Ossifikation der Epiphysen sehr verschieden. Gerade betreffs der Olecranon-Frakturen ist dies von grösster Wichtigkeit, da uns sonst Täuschungen nicht erspart bleiben.

Wir finden einen Knochenkern innen am Capitulum humeri zwischen dem zweiten und dritten Lebensjahre, einen weiteren im inneren Condylus im fünften, einen in der Trochlea zwischen dem elften und zwölften Jahre und einen vierten im äusseren Epicondylus. Der Nucleus des inneren Epicondylus vereinigt sich mit der Diaphyse zwischen dem sechzehnten und zwanzigsten Lebensjahr; die drei andern jedoch verknöchern unter sich selbst im siebzehnten Lebensjahr und erzeugen dann die gesamte knöcherne Epiphyse, welche ihre Knochenverbindung mit der Diaphyse um das zwanzigste Lebensjahr vollendet.

Bei sehr jungen Kindern erscheint die Eminentia capitata als völlig vom Humerus gelöst.

Die Epiphysen der Trochlea sowohl als des Olecranons verknöchern zwischen dem siebenten und zwölften Lebensjahr.

Alle diese Verhältnisse muss man, wie gesagt, genau kennen, wenn anders man nicht Gefahr laufen will, Frakturen auf den Röntgenbildern zu diagnostizieren, wo gar keine sind.

Gründe für die habituellen Luxationen des Radiusköpfchens gleichwie beim Schultergelenk, Erkrankungen des Gelenkes, namentlich solcher tuberkulöser Natur, lassen sich mit Hilfe der Röntgenstrahlen nachweisen, desgleichen können wir uns auch orientieren über das Vorhandensein und die Art und Grösse von freien Gelenkkörpern, die ja gerade auch in diesem Gelenk häufig genug vorkommen.

Wenden wir uns weiter zu den Frakturen der Vorderarmknochen, bei denen eine gute Adaptierung der Fragmente von besonderer Wichtigkeit für die spätere Funktion ist. Wir können hierbei nicht oft genug mit den Röntgenstrahlen kontrollieren, wie die Fragmente liegen, und wir dürfen nicht eher ruhen, bis dieselben so aneinander liegen, dass eine Funktionsstörung nicht mehr zu fürchten ist. Gelingt es uns nicht, eine erhebliche Deformität auszugleichen, dann müssen wir die Silberdrahtnaht in Anwendung bringen.

Starke Kallusmassen oder gar Synostosen zwischen Radius und Ulna können Schuld an einer Aufhebung der Pro- und Supination sein. Solche und ähnliche Ursachen zu erkennen, dürfte heute nicht mehr schwer fallen. Mitunter giebt auch der Befund den Grund für die behinderte Beweglichkeit ab, dass manche Frakturheilung in starker Pronationsstellung der Hand und des unteren Fragmentes zustande kommt, während das obere Fragment in Supinationsstellung steht. Alle diese Ursachen führt uns das Röntgenbild klar vor Augen und giebt uns sogleich auch damit den Weg, den wir zu gehen haben, um normale Beweglichkeit wiederherzustellen.

Das Hauptkontingent von allen Vorderarmfrakturen stellen die Radiusbrüche dar. Das Röntgenbild giebt uns die Aufklärung über die häufige Mitverletzung der Ulna. Beck hat zuerst darauf aufmerksam gemacht; er konnte unter 104 Fällen 21 mal eine Mitverletzung der Ulna feststellen. Es kann sich dabei nur um reine Fissuren handeln, oft aber auch werden Absprengungen des Processus styloideus beobachtet. Die Grösse des abgebrochenen Stückes

schwankt zwischen kleinen, kaum erkenntlichen Splittern und Stücken von etwa Bohnengrösse.

Dass es oft nötig ist, um Frakturen nicht zu übersehen, Aufnahmen in Pro- und Supinationsstellungen zu machen, dass uns oft eine zweite Aufnahme von der anderen Seite eine Deformität erkennen lässt, die auf dem ersten Bilde nicht zutage trat, soll nicht unerwähnt bleiben.

Vor allen Dingen kommen hier auch die kleinen vom Radius abgesprengten Knochenstückchen in Betracht, die, wenn sie sich auf der dorsalen oder palmaren Fläche losgelöst haben, kaum oder garnicht auf dem Röntgenbilde erscheinen, wenn dasselbe bei aufliegendem Handteller oder Handrücken genommen wird, da der dicke Knochenschatten des Radius dieselben verdeckt. Sie werden aber sofort sichtbar, wenn wir eine Aufnahme von der andern Seite machen.

Von grosser prognostischer Bedeutung ist auch noch eine andere Mitverletzung bei diesen Speichenbrüchen, auf die wir überhaupt erst durch die Röntgenstrahlen aufmerksam gemacht worden sind, wir meinen die Fraktur einzelner Carpalknochen.

Nach Gocht und Kahleyss scheint am meisten das Os lunatum befallen zu sein, eine Annahme, die Beck nicht bestätigt fand; er konnte viel öfter einen Querbruch des Os skaphoideum nachweisen.

Wie wichtig eine derartige Diagnose für die Therapie ist, das beweisen am besten die versteiften Handgelenke nach derartigen Frakturen, die nicht erkannt wurden. Wollen wir diese Ankylosierungen vermeiden, dann sollen wir zunächst mit Hilfe der Röntgenstrahlen die Diagnose sichern, und handelt es sich dann um eine Mitverletzung der Karpalknochen, jede lange Ruhigstellung möglichst vermeiden und früh genug mit Massage und Bewegungen beginnen.

Die Röntgendurchleuchtung ist also nicht nur für die Diagnose wichtig, sondern sie hat auch einen grossen praktischen Wert für die Therapie. Anders werden wir blosse Fissuren behandeln, anders wirkliche Brüche am Radiusende, anders wieder solche mit Nebenverletzungen, wie wir sie beschrieben haben. Handelt es sich um stärkere Dislokationen, dann müssen wir diese in erster Linie am besten unter Kontrolle der Röntgenstrahlen zu beseitigen suchen, die auch fortgesetzt und wiederholt werden muss, wenn der Verband

angelegt ist. Oft genug müssen wir noch eingreifen und zu korrigieren suchen. Wenn wir so verfahren, dann, glaube ich, werden die Osteotomien wegen schlecht geheilter Fraktur bald ganz von der Bildfläche verschwinden.

Die Frakturen und Luxationen der Karpalknochen können auch isoliert vorkommen und lassen sich natürlich auch leicht heutzutage diagnostizieren, während das früher nicht der Fall war.

Die isolierte Fraktur sehen wir am öftesten am Os pisiforme und scaphoideum. Auch jeder andere Karpalknochen kann natürlich zumal durch direkte Gewalt getroffen werden.

Die isolierten Luxationen dieser Knochen gehören ohne allen Zweifel zu den seltensten traumatischen Luxationen. Dupuytren und Andere behaupteten, dass sie überhaupt nicht vorkämen. Dass sie früher so selten beobachtet wurden, mag wohl daran gelegen haben, dass ihre Diagnose im höchsten Grade unsicher war; dass sie aber sicherlich vorkommen, das beweisen am besten die von allen Seiten sich mehrenden Beobachtungen.

Wir unterscheiden bei ihnen solche von einzelnen Handwurzelknochen und solche der ganzen proximalen bezw. distalen Reihe. Von den Knochen der proximalen Reihe finden wir nach Oberst das Os lunatum am häufigsten luxiert und fast immer nach der Vola zu; jedoch sind auch ganz vereinzelte Fälle beobachtet worden, in denen die Luxation nach dem Dorsum erfolgte. Bedeutend seltener sind die Luxationen des Os naviculare und Os triquetrum, die nach dem Dorsum und nach der Vola hin luxieren können.

Auch Luxationen des Os pisiforme und der übrigen Handwurzelknochen sind, wenn auch nur vereinzelt, beobachtet und beschrieben worden.

Durch das Röntgenverfahren wird erst meist eine sichere Diagnose gestellt werden können, und wir werden dann den Versuch machen müssen, sofort den luxierten Knochen zu reponieren. Gelingt es nicht — und das ist hauptsächlich in allen den Fällen zu konstatieren, in denen zu spät die Diagnose gestellt wurde —, dann bleibt nur die Exstirpation des betreffenden Karpalknochens über, zumal wenn dieser durch Druck auf die Nerven oder sonstwie irgendwelche grössere Beschwerden macht.

In die Frakturen der Metakarpalknochen, die auch bis zum Beginn der Röntgenaera als verhältnismässig selten angesehen

wurden, hat diese neue Untersuchungsmethode auch mehr Licht gebracht. Dieselben kommen vorzugsweise bei Erwachsenen vor und betreffen meist den zweiten und fünften Metakarpus und in ausserordentlich typischer Weise den des Daumens. Letzterer hat Bennett besonders seine Aufmerksamkeit geschenkt. Es handelt sich immer um eine Schrägfraktur, welche die volare Hälfte der proximalen Gelenkfläche des Daumenmetakarpus von dem übrigen Metakarpus trennt. Das abgebrochene Stückchen kann mitunter sehr klein sein, so dass oft eine Diagnose unmöglich ist, wie es auch in einem von uns beobachteten Fall war, bei dem erst die Röntgenplatte Klarheit brachte, auf der sich deutlich die seltene Frakturform unsern Augen präsentierte. Ohne Röntgenstrahlen hätten wir uns jedenfalls mit der Diagnose „Verstauchung" begnügen müssen.

Auch bei den vollständigen und unvollständigen Luxationen des Daumens und der übrigen Finger, auch bei den Brüchen der Phalangen, deren Diagnose ja allerdings sehr leicht ist, können uns die Röntgenstrahlen dessenungeachtet noch oft genug gute Dienste leisten.

Von den Erkrankungen des Handgelenks und der einzelnen Knochen muss auch hier wieder an erster Stelle die Tuberkulose genannt werden. Manches ist durch die Röntgenstrahlen hier erst geklärt worden.

So haben uns z. B. diese gezeigt, dass es sich bei den sogenannten Trommelschlägelfingern mehr um eine Verdeckung der Weichteile handelt. Die Knochen erschienen ganz normal, höchstens waren sie etwas durchlässiger und atrophisch. Erst bei fortgeschrittener Erkrankung finden wir die Kuppen der Endphalangen pilzartig verdickt.

Bei der Spina ventosa, die wir schon im allgemeinen Teil berührten, können wir durch die Röntgenstrahlen genau Aufschluss erhalten, ob es sich um die periostale oder um die zentrale Form dieses Leidens handelt. Auf Grund der Palpation dies früher zu konstatieren, war einfach unmöglich.

Bei der periostalen Form sind Corticalis und Spongiosa unverändert; die Verdickung, die man fühlen kann, rührt lediglich von dem ossifizierten Periost her.

Anders steht es mit der centralen Form, bei der das Periost nicht mitbeteiligt ist und bei der es sich um eine ziemlich gleichmässige Verdickung des Knochens handelt. Die Corticulis ist bei dieser Form verdünnt, ja man trifft sie oft so dünn an, dass sie im

Röntgenbilde nur durch eine feine dunklere Linie markiert ist. Die Spongiosa erscheint etwas heller als normal.

Bei beiden Formen ist natürlich auch die Therapie eine verschiedene, und deshalb ist es von grosser Wichtigkeit, sogleich zu erkennen, um welche Art der Erkrankung es sich handelt.

Zum Schluss dieses Kapitels wollen wir nun noch mit kurzen Worten auf die Missbildungen der oberen Extremität zu sprechen kommen, von denen wir schon weiter oben den angeborenen Hochstand des Schulterblatts erwähnt haben, auf ein Gebiet, um das sich Joachimsthal grosse Verdienste durch Veröffentlichung aller von ihm beobachteten Fälle erworben hat. Dass uns bei diesen die Röntgenstrahlen oft mehr von Nutzen sein und mehr Aufklärung verschaffen können, als selbst das anatomische Präparat, das haben wir schon im allgemeinen Teil erwähnt.

An erster Stelle stehen hier die kongenitalen Defekte der langen Röhrenknochen, die Defekte des Humerus, des Radius, der Ulna. Die Röntgenstrahlen lassen die partiellen von den totalen gut unterscheiden und zeigen uns auch in gewissen Fällen, ob etwa noch mit einer Operation dem Patienten geholfen werden kann, und bejahendenfalls wie dieselbe am besten auszuführen ist.

Ueber foetale Amputationen, über Defekte einzelner Finger und entsprechender Teile der Hand, über die verschiedenen Deformitäten der Finger kann uns die Röntgendurchleuchtung oft wertvolle Aufschlüsse geben. Diese anzuwenden, sollten wir vor allen Dingen nicht versäumen in den Fällen von Polydaktylie, in denen wir operieren wollen. Ein Blick auf die betreffenden Skiagramme unterrichtet uns mit vollster Klarheit über die Art und Weise der Verbindung der zu entfernenden Teile.

Nach Joachimsthal liegt der praktische Wert der in dem Falle von Syndaktylie gepaart mit Polydaktylie erhaltenen Ergebnisse in dem Nachweis der Möglichkeit der Einschaltung eines überzähligen, der klinischen Untersuchung sich entziehenden Fingers resp. einer überzähligen Fingeranlage. Die Berücksichtigung einer solchen Möglichkeit, die man eventuell vorher durch Anwendung der Röntgenstrahlen ausschliessen kann, wird bei der Ausführung einschlägiger Operationen vor unangenehmen Ueberraschungen bewahren.

Becken und untere Extremität.

Da jede Lageveränderung des Objektes und ebenso jede Verschiebung der Röhre ganz charakteristische Veränderungen am

Projektionsbild des Beckens sowohl, als des coxalen Femurendes hervorrufen kann, muss man mit den normalen Verhältnissen sich sehr vertraut machen, wenn man nicht Gefahr laufen will, da normale Verhältnisse zu konstatieren, wo gar keine sind. Umsomehr konnten wir es wohl mit Freuden begrüssen, wenn sich Hofmeister der Mühe unterzog, das normale Becken und Hüftgelenk systematisch zu röntgographieren. Er hat uns mit seinen Studien einen zuverlässigen Wegweiser zur Unterscheidung von pathologischer Abnormität und Kunstprodukt gegeben.

Hofmeister verlangt, dass bei jeder Beckenaufnahme, um dieselbe voll verwertbar zu machen, die Lageverhältnisse von Lampe, Objekt und Platte genau angegeben sein müssen. Der senkrecht unter der Antikathode gelegene Punkt soll auf dem Bilde markiert sein.

Um eine möglichst gleichmässige Darstellung sämtlicher Teile des Beckens zu erhalten, empfiehlt er am meisten die Rückenlage mit Einstellung der Lampe nach abwärts von der Linea intertrochanterica, da bei dieser Anordnung namentlich auch das Kreuzbein, sowie die Pfannensynchondrose und die obere Hälfte der Hüftgelenksspalte vorteilhaft herauskommt.

Soll die Aufnahme Schlüsse auf die Gestalt des Beckens gestatten, so muss dasselbe absolut gerade liegen, insbesondere muss jede Rotation vermieden werden. Hüftkonfrakturen dürfen nicht kompensiert werden.

Um eine verwertbare Projektionsfigur der Schenkelhalspartie zu erhalten, muss man für gerade oder leicht einwärts rotierte Stellung des Femur Sorge tragen.

Walter hält für die zweckmässigste Lage bei Hüftgelenksaufnahmen diejenige, bei der die Person mit der betreffenden Körperseite schräg rücklings auf die Platte gelegt wird, sodass ihre Frontallinie etwa einen Winkel von 30 Grad mit der letzteren bildet, während zugleich das betreffende Bein im Hüftgelenk selbst möglichst nach innen gedreht werden muss.

Durch diese Drehung kommt nach Walters Ausführungen der Trochanter maior nach vorn, was zur Folge hat, dass derselbe mit Hals und Kopf des Oberschenkelknochens sowie mit der hinteren Fläche des Darmbeins nahezu in dieselbe Ebene gebracht wird, sodass dadurch nicht blos für den Körper eine gute Stütze geschaffen, sondern vor allem auch die Möglichkeit erreicht wird, das Gelenk selbst auf wenige Centimeter an die Platte heranzubringen. Es ist dies eine Lage, die sicherlich ihre grossen Vorteile bietet, auf der andern Seite aber auch den nicht zu unterschätzenden Nachteil, dass es uns bei dieser Stellung nicht möglich ist, auch das andere Hüftgelenk zur Kontrolle gleichzeitig mit zu photographieren. Wie wichtig aber gerade dies ist, das werden wir noch später sehen.*)

*) Weitere Winke für die Technik siehe dieses Kapitel, Teil 1.

Zunächst können uns die Röntgenstrahlen gute Dienste leisten bei Frakturen des Beckens und Neubildungen, die vom knöchernen Beckenring ausgehen. Von letzteren wären die Exostosen, Enchondrome und vor allem die Sarcome zu erwähnen, die wohl am häufigsten zur klinischen Beobachtung kommen. Auch Carcinome können sich, freilich nur als Metastasen, in den Beckenknochen entwickeln.

Es versteht sich wohl von selbst, dass uns auch bei der Diagnose und Behandlung der Frakturen und Luxationen in der Hüfte das Röntgenbild oft die beste Aufklärung über die vorliegende Verletzung geben wird, und wir können Pels-Leusden darin zustimmen, dass trotz aller Schwierigkeiten und gelegentlichen Misserfolge uns hierbei das Röntgenverfahren ein liebes und fast unentbehrliches Hilfsmittel geworden ist, vermögen wir doch dadurch in kürzerer Zeit und in der für den Patienten schonendsten Form eine Diagnose über den genauen Sitz einer Fraktur zu stellen, wie es in dieser Exaktheit auch unter Anwendung der ingeniösesten Untersuchungsmethoden im Bereich des Hüftgelenks nicht möglich war.

Alles, was wir bereits an anderen Stellen über die Frakturen und Luxationen gesagt haben, gilt natürlich auch für die Hüfte. Nur möchten wir noch auf einige Verletzungen aufmerksam machen, über die wir erst durch die Röntgenstrahlen näheren Aufschluss bekommen haben.

Es ist dies in erster Linie die isolierte Fraktur des Trochanter maior oder im jugendlichen Alter die Abtrennung dieses in seiner Epiphysenlinie, beides Verletzungen, die früher, vor der Entdeckung der Röntgenstrahlen, ausserordentlich selten beobachtet wurden. Erst in letzter Zeit haben sich die Beobachtungen gemehrt. Die straffe Spannung der umgebenden Weichteile, die in den meisten Fällen vorhandene starke Schwellung machen oft eine Palpation des abgebrochenen Knochenstückes unmöglich, und aus diesem Grunde sind wohl viele derartige Frakturen mit der Diagnose „Contusion“ bezeichnet worden, weil eben alle charakteristischen Symptome, die auf eine Frakur schliessen liessen, nicht zu konstatieren waren und weil vor allen Dingen bei derartigen Verletzungen die Bewegungen der betreffenden Extremität nach allen Richtungen hin möglich sein können.

Auch Absprengungen am Pfannenrand, Frakturen, bei denen der Femurkopf durch heftigen Schlag oder Fall auf den Trochanter in die Pfanne hineingedrängt wurde und diese sprengte, wodurch die Bruchstücke in das Becken vorgetrieben werden

können, sind mit Hilfe der Röntgenstrahlen heutzutage zu diagnostizieren.

Die Differentialdiagnose zwischen Kontusion, Schenkelhalsfraktur und Luxation, deren Erkennen zumal bei kräftigen Leuten ausserordentlich schwierig sein konnte und deren Nichterkennen so oft schon grossen Schaden angerichtet hat, ist nicht mehr schwierig, wenn wir die Röntgenaufnahme zu Hilfe nehmen, die uns auch erst gezeigt hat, dass Schenkelhalsbrüche im jugendlichen Alter doch häufiger vorzukommen pflegen, als man früher annehmen zu müssen glaubte.

Seit der Einführung des Röntgenschen Verfahrens in der Chirurgie ist die Zahl der hierher gehörigen Fälle bedeutend gewachsen, so dass wir bei der Durchsicht der Litteratur bereits 78 Fälle zusammenstellen konnten. Merkwürdigerweise konnten wir selbst zehn dieser Schenkelhalsfrakturen beobachten, deren Diagnose durch das Röntgenbild absolut sichergestellt wurde.

Unendlich viel Nutzen haben uns die Röntgenstrahlen bei der angeborenen Hüftluxation gebracht, sowohl bezüglich der Diagnose und pathologischen Anatomie, wie auch bezüglich der Behandlung und der Erfolge. Wir sind mit ihrer Hilfe leicht imstande, die Diagnose der angeborenen Verrenkung in zweifelhaften Fällen zu sichern. Wenn auch diese meist wohl ohne grosse Schwierigkeiten zu stellen ist, so giebt es doch noch Fälle genug, bei denen man hinsichtlich derselben im Zweifel sein kann. Dies gilt namentlich für einzelne Fälle von Schenkelhalsverbiegung, für einzelne Fälle bei Kindern, die noch nicht laufen können.

Weiter erhalten wir dann, wie Wolff bereits hervorgehoben hat, auch Aufschluss durch die Durchleuchtung über den Wert der bisher von den einzelnen Autoren aufgestellten Theorien der Entstehung, Aufschluss über den vielumstrittenen, thatsächlich aber bestehenden Unterschied zwischen der von Paci und Andern vorgenommenen Transposition des Schenkelkopfes und der von Lorenz vorgenommenen Reposition dieses an seine richtige Stelle, ferner Aufschluss über die Ursachen der bald grössseren, bald geringeren Widerstände, die sich in einzelnen Fällen den Versuchen unblutiger Einrenkung entgegensetzen, und über die Ursachen, weshalb nach der gelungenen Reposition in dem einen Falle leichter, in dem andern schwerer das Eintreten von Reluxation in die frühere fehlerhafte Stellung des Kopfes sich verhüten lässt.

Sehr wichtig ist auch die Möglichkeit, die anatomischen Ver-

hältnisse, die ja bekanntlich bei der Luxatio coxae congenita sehr mannigfaltig und verschiedenartig sein können, unter Zuhilfenahme der Röntgenstrahlen festzustellen in allen möglichen Lebensaltern. Die Durchleuchtungsmethode gab uns hier alles, was wir brauchten, die Grösse und Form der knöchernen Pfanne, ihre Tiefe, die Grösse und Form des Kopfes, des Halses, der Stand des Kopfes, die Grösse des Winkels zwischen Schenkelschaft und Hals, den Grad der Verbiegung des letzteren bezw. der Torsion des ganzen oberen Schenkelteils nach aussen; kurz alles das, was vordem nur mit grösserer oder geringerer Wahrscheinlichkeit gemutmasst werden konnte und in ziemlich weiten Grenzen der subjektiven Deutung unterlag, wie sich Schede ausdrückt, war nun auf einmal sichtbar geworden.

Wie bereits erwähnt, können wir auch verfolgen, wie alle diese aufgezählten Veränderungen mit zunehmendem Alter auch zunehmen und immer erheblicher werden, und können so schon vorausbestimmen, ob die vorliegenden Verhältnisse für eine etwa vorzunehmende Reposition sowohl wie für die Retention noch günstig sind oder schon derartig ungünstig, dass nicht mehr die unblutige, sondern nur noch die blutige Einrenkung in Frage kommt. Wollen wir auf Grund des durch die Röntgenstrahlen geklärten Befundes die unblutige Einrenkung vornehmen, dann giebt uns dieser wieder den Wegweiser für den anzulegenden Verband, für die Dauer der Fixation u. a. m. So werden wir z. B. bei schlecht entwickeltem Hüftbeindach unser Augenmerk vor allen Dingen darauf zu richten haben, einen „exakten und den idealsten Anforderungen entsprechenden Verband“ anzulegen, der in derartigen Fällen sehr lange getragen werden muss, während er bei entgegengesetzten Verhältnissen schon früher entfernt werden kann.

Des weiteren können wir durch die Röntgenstrahlen Aufschluss erhalten über die spätere definitive anatomische Gestaltung und damit auch nach Wolff über die funktionelle Bedeutung des an der richtigen Stelle oder in der nächsten Nähe derselben nach der Reposition neugebildeten Hüftgelenkes, kurz über die Resultate unserer Behandlung. Denn nach dem Gange der Patienten können wir nicht immer urteilen, ob der Kopf in der Pfanne steht oder nicht, ob es sich also um eine wirkliche Reposition handelt oder nur um eine sogenannte Transposition; wir haben Fälle genug beobachtet, bei denen der Gang ein ausgezeichneter war, trotzdem es

sich nur um eine Transposition handelte, wir haben aber auch Fälle beobachtet, bei denen es sich um eine wirkliche Reposition handelte, trotzdem der Gang nicht ganz tadellos war. Auch die Palpation kann uns manchmal im Stich lassen, und so sind wir denn wieder lediglich auf die Röntgenstrahlen angewiesen, mit deren Hilfe wir uns genau orientieren können, noch dazu, wenn wir das stereoskopische Verfahren anwenden, das ja in einem andern Abschnitt dieses Buches beschrieben ist. Mit einem Schlage wird uns die ganze Situation, wie sie in Wirklichkeit ist, vor Augen geführt.

Wolff verlangt, dass Niemand Mitteilungen über Erfolge machen sollte, der nicht in jedem Falle durch die Röntgenstrahlen festgestellt hat, wie es in Wirklichkeit aussieht.

Wie wir soeben schon bei der Diagnosenstellung erwähnten, ist die Luxatio coxae congenita in gewissen Fällen schwer von der Coxa vara zu unterscheiden, jener Deformität, zu deren wesentlichen Klärung in den letzten Jahren die Röntgenstrahlen auch ein gut Teil beigetragen haben. Hofmeister hat sich mit diesem Krankheitsbild eingehend beschäftigt; er will für das Studium des Schenkelhalses und seiner Veränderungen immer die Bauchlage angewendet wissen, weil bei der Aufnahme in Rückenlage infolge der Stellung der Schenkelhälse dieselben gewöhnlich in starker Verkürzung projiziert werden, sodass Teile des Kopfes und Halses sich im Bilde überlagern.

Hofmeister hat bereits auf die hohe Bedeutung aufmerksam gemacht, die dem Röntgenverfahren nicht nur für die Diagnose dieser Erkrankung im Einzelfalle, sondern auch für die Erkenntnis des Leidens im allgemeinen zukommt, da es auch imstande ist, uns wertvolle Anhaltepunkte für die Entscheidung der Frage, wie ein eventueller Eingriff sich zu gestalten hat, zu liefern.

Wir können hier natürlich nicht näher eingehen auf die verschiedenen Operationsverfahren, die bei der Behandlung dieser Schenkelhalsverbiegung empfohlen sind, möchten sie aber doch in so weit berücksichtigen, als sie Bezug auf die Röntgendurchleuchtung haben. Hofmeister glaubt nämlich einen wesentlichen praktischen Nutzen dieser darin erblicken zu dürfen, dass sie uns eine Handhabe bietet für die annähernde Vorausberechnung des anatomischen Effektes einer geplanten Knochenoperation. Hofmeister rät, nur den betreffenden Femur aus der Kopie herauszuschneiden, an der für die Osteotomie in Aussicht genommenen Stelle zu durchtrennen und dann den Versuch der Korrektion zu machen.

Auf einen weiteren Vorteil, den uns das Skiagramm für die Ausführung der Osteotomie gewährt, weist Hofmeister dann noch

hin, dass wir nämlich am Röntgenbilde ausmessen können, wie weit unterhalb der Spitze des grossen Trochanter die obere Grenze des kleinen sich befindet, wodurch wir in den Stand gesetzt sind, die Stelle, an der die Herumführung der Drahtsäge bezw. die Durchtrennung des Schenkelschaftes zu geschehen hat, genau zu bestimmen.

Dass natürlich in den Fällen, in denen die Schenkelhälse in toto viel zu kurz sind, die Keilresektion nicht in Frage kommen kann und dass schliesslich für die Frage der eigentlichen Resektion das Ergebnis der Röntgenuntersuchung einen entscheidenden Einfluss haben kann, leuchtet nach Hofmeister sofort ein, wenn wir bedenken, dass uns diese in besonders schweren Fällen über das Vorhandensein vorgeschrittener sekundärer Deformationen des Kopfes, welche eine Osteotomie wenig aussichtsvoll erscheinen lassen, zu belehren vermag.

Das Ideal unserer therapeutischen Bestrebungen bei der Coxa vara soll nun aber nach des genannten Autors Ansicht nicht in der Suche nach dem besten Operationsverfahren liegen, sondern in der Frühdiagnose, die es ermöglicht, durch rationelle unblutige Massnahmen der Entstehung schwerer Deformitäten vorzubeugen. „Das Röntgenbild ist gerade hier ein mächtiges diagnostisches Hilfsmittel, das eben gerade in den Frühstadien, die begreiflicherweise zu diagnostischen Zweifeln am meisten Anlass geben, die Entscheidung zu bringen vermag.“ Das ist ein Satz, den wir Wort für Wort unterschreiben.

Diejenige Erkrankung des Hüftgelenks nun aber, die uns weit häufiger als die beiden erwähnten zu Gesicht kommt und bei der uns die Röntgenstrahlen auch von grossem Wert sind, ist die tuberkulöse Coxitis. Wenn die Röntgenuntersuchung nach König's Ansicht zur Erkenntnis dieser Erkrankungen nicht alles das leistet und zu leisten vermag, was sie an dem freien Teil der Gliedmassen leistet, weil die Formen der Erkrankung öfter derartige sind, dass sie überhaupt schwer erkennbar bleiben, so geben doch vor allen Dingen die Herderkrankungen scharfe Bilder, die wir auch aus diesem Grunde vorweg nehmen wollen. Lage und Grösse derselben vermögen wir deutlich zu erkennen in Gestalt von lichten Flecken, die meist durch eine dunklere Zone umgeben sind, teils aber auch ohne scharfe Grenze in die Umgebung übergehen. Diese kommen nicht nur in Knochenabschnitten vor, die innerhalb des Kapselsackes liegen, sondern wir konnten sie auch gelegentlich in paraarticulären Knochengebieten auf dem Röntgenbilde nachweisen, ein Befund, der nach König insofern von einer gewissen praktischen Wichtigkeit ist, als bei diesen die Gefahr der Gelenkerkrankungen weit geringer ist und es öfter gelingt, sie operativ zu entfernen, ohne dass sich die Tuberkulose in das Gelenk

verbreitet. Als solche Stellen, die öfter extraarticulär erkranken, wenn auch ganz ausserordentlich selten im Vergleich zu den intraarticulären Erkrankungsherden, sind beobachtet worden der Trochanter maior und minor, der Sitzknorren, der obere hintere Rand des Darmbeins und die Gegend der Spina anterior inferior.

Wir sollen, wenn es gilt, eine noch nicht sehr ausgesprochene Coxitis zu konstatieren, nie versäumen, beide Hüftgelenke auf eine Platte zu bringen und die beiden Gelenke mit einander zu vergleichen. Nur so dürfte es uns gelingen, selbst geringe Veränderungen, die andernfalls sicher unseren Augen entgangen wären, zu erkennen. In den Anfangsstadien, wenn die Coxitis in erster Linie die Synovialis betrifft, ist schon früh eine hochgradige Rarefizierung des Knochens auffällig, die sich durch grössere Lichtdurchlässigkeit, Verwischt- und Verschwommensein der Knochenstruktur auszeichnet, besonders aber nach Manninger's an eine Reihe von Coxitisbildern gemachten Erfahrungen durch das Verschwinden der Epiphysenlinie, das nicht immer die ganze Epiphysenlinie zu betreffen braucht. Ein Teil derselben kann auch sichtbar bleiben.

Die Gelenklinie des erkrankten Gelenkes erscheint verdunkelt und verschwommen im Gegensatz zur gesunden Seite, etwas weniger scharf, die Konturen sind, wenn auch schwach erkennbar, doch glatt. Später können dann sekundäre Veränderungen am Knorpel und Knochen hinzutreten. Man sieht dann in den betreffenden Knochenteilen, besonders am Kopf, Schatten und lichtere Stellen angedeutet.

Manninger konnte auf Röntgenbildern des öftern ziemlich regelmässig einen lichten Kegel an der Stelle des Ansatzes des Ligamentum teres feststellen. Ob es sich hierbei um ein Auffasern des Knochens durch Granulationen handelt, die meistens dies Ligament umwachsen, vermag er nicht anzugeben. Später können wir dann zottenartige Fortsätze erkennen, periostale Wucherungen, Lösungen einzelner Knochenstückchen, spontane Luxationen u. dergl. m. Ja die ursprüngliche Form des Knochens kann zum Teil und auch ganz verloren gehen.

Auch wenn die Diagnose einer Coxitis tuberculosa sicher ist, dann sollten wir doch nie versäumen, eine Röntgenaufnahme zu machen, da sie allein uns genauen Aufschluss geben kann über die Ausdehnung des Prozesses. Dass es selbst Fälle giebt, bei denen fast nur das Röntgenbild für die Diagnose massgebend sein kann, das beweisen mehrere von König beschriebene Fälle, bei

denen dieses die Diagnose einer ostalen Hüftgelenkserkrankung stellen liess, indem es bei vollständig freier Beweglichkeit im Hals und Trochanterteil einen Sequester zeigte, ein Befund, der natürlich bestimmend für die Behandlung war, für die Ausführung der Resektion. Diese und noch viele andere Fälle beweisen wohl zur Genüge, dass wir Aufschluss erhalten können in Fällen tuberkulöser Coxitis für unser therapeutisches Handeln aus den Röntgenbildern. Wir können aus denselben positive Schlüsse ziehen und ersehen, ob wir in dem vorliegenden Falle noch mit konservativen Massnahmen auskommen werden oder ob ein operativer Eingriff dringend geboten erscheint.

Auch der nach dieser Erkrankung so häufig zurückbleibenden Deformitätsstellungen im Hüftgelenk, der Kontrakturen und Ankylosen, müssen wir gedenken. Sehr schwierig und oft ganz unmöglich, selbst wenn wir die Narkose zur Hilfe nahmen, war es früher zu ermitteln, welche Art von Ankylose in dem gegebenen Falle vorlag, eine Schwierigkeit, der wir jetzt glücklicherweise durch die Anwendung der Röntgenstrahlen vollkommen enthoben sind. Das Röntgenbild giebt uns genügend Aufschluss darüber, ob es sich um eine knöcherne oder eine fibröse Ankylose — auf die einzelnen Arten und deren Unterschiede gehen wir hier nicht näher ein — handelt oder nur um eine Kontraktur, und damit wird uns auch zugleich der Weg gewieseen, den wir bei der Behandlung einzuschlagen haben. Wir können vorher bestimmen, ob wir mit unblutigen Massregeln zum Ziele kommen werden oder ob nur ein operativer Eingriff von Erfolg sein kann. Gleichwie bei der Behandlung der Coxa vara das Röntgenbild uns vorschrieb und zeigte, welche Operation die besten Chancen bot, so wird uns auch bei den falschen Hüftgelenksstellungen, bei den wahren Ankylosen die Operationsmethode vorgeschrieben und gewiesen, welche die beste ist, mag es sich nun um eine der verschiedenen Osteotomien, die bei derartigen Leiden empfohlen und angewandt sind, handeln oder um die Resektion.

Auch in einer Anzahl von Fällen von Osteomyelitis klärt das Röntgenbild die Knochenverhältnisse auf in ähnlicher Weise, wie wir dies bei der tuberkulösen Coxitis ausgeführt haben.

Weiter kommt dann noch die Arthritis deformans in Frage, deren Knochenveränderungen deutlich auf der Platte zu sehen sind.

Gehen wir nun zu dem Schaft des Femur über, bei dem ja zunächst auch wieder in erster Linie die Frakturen berücksichtigt werden müssen. Wenn es nun auch an und für sich nicht allzu schwierig ist, die Diagnose auf derartige Frakturen zu stellen, und wenn auch die Symptome in manchen Fällen so charakteristisch sind, dass wir selbst auf den ersten Blick imstande sind, zu sagen, es handelt sich um eine Fraktur des Femur, so sollen wir trotzdem doch nie unterlassen, auch diese Verletzungen zu skiagraphieren, um genauen Aufschluss zu erhalten über den Sitz der Fraktur, den Verlauf der Bruchlinie und über die stattgefundene Dislocation, Dinge, die nicht so leicht, namentlich, wenn es sich um kräftige Männer handelt, zu bestimmen sind. Da aber diese Verhältnisse für die einzuschlagende Therapie grosse Wichtigkeit besitzen, muss man sich doch Rechenschaft über dieselben geben können. Dazu eignet sich am besten das Röntgenbild, das uns genau über alle Einzelheiten orientieren kann, zumal wenn wir nicht versäumen, mehrere Aufnahmen von verschiedenen Seiten zu machen, da auch hier bei einer Aufnahme nur leicht Täuschungen vorkommen können. Es werden uns durch die Röntgenstrahlen oft Dinge vor Augen geführt, an die wir garnicht gedacht hatten, vor allen Dingen Deformitätsstellungen in Fällen, bei denen man solche sicher ausschliessen zu können glaubte, wie wir erst neulich wieder zu konstatieren Gelegenheit hatten. Die Inspektion und Palpation ergaben keine Deformitätsstellung, eine Verkürzung bestand auch nicht, so dass man also annehmen musste, es sei alles in bester Ordnung, und doch war dem nicht so. Das Bild zeigte bei dem bestehenden Spiralbruch eine Deformität, die nun noch ausgeglichen werden konnte.

Auch über den Reitknochen, jene osteomartige Bildung in den Adduktoren des Oberschenkels, können wir uns Aufschluss holen durch die Röntgenbilder. Es kann in derartigen Fällen vom Periost des Schienbeins aus zu einer Wucherung von Knochensubstanz kommen, die dem Verlauf der Adduktoren folgt. Ferner ist es möglich, dass ein durch ein Trauma abgesprengtes Knochenpartikelchen in das Muskelgewebe versprengt wird und sich hier weiter entwickelt. In der Mehrzahl der Fälle aber wird durch die fortwährenden Insulte des Reitens zunächst ein Entzündungszustand des Muskelgewebes gesetzt, der unter Zugrunderichtung dieses zur Bildung von Knochensubstanz führt, deren Vorhandensein und Aus-

dehnung uns genau im Röntgenbilde vorgeführt wird. Ausser in den Adduktoren hat man die Reitknochen auch in den Mm. pectineus, vastus und gracilis gefunden.

Der Femur, namentlich das untere Ende, wird auch oft von der Osteomyelitis ergriffen, deren Diagnose im allgemeinen nicht schwer zu stellen ist. Aber trotzdem sind diagnostische Irrtümer nicht ganz ausgeschlossen, die mit Hilfe der Röntgenuntersuchung zu vermeiden sind.

Die regelmässige Folge der Oberschenkel-Osteomyelitis ist das Absterben eines Teiles des erkrankten Knochens, die Sequesterbildung. Wir sehen auf den Röntgenplatten Femora, bei denen nur oberflächliche Teile der Knochenränder in Gestalt von Schalen und Platten, aber auch solche, wo grössere Stücke der Compacta und Spongiosa nekrotisch werden. Meist jedoch nekrotisiert der Knochen in seiner ganzen Dicke. Auch multiple Nekrosen des Femur haben wir nicht selten gefunden.

Ob der Sequester gelöst ist oder nicht, können wir mit Hilfe der Röntgenstrahlen unterscheiden und so die Entfernung desselben zur richtigen Zeit vornehmen, was äusserst wichtig ist, weil einerseits durch frühzeitiges Entfernen desselben die Knochenneubildung beschränkt werden kann und infolgedessen Pseudonekrosen oder Spontanfrakturen entstehen können, andererseits aber durch lang andauernde Eiterung aus den Fisteln chronische Nephritis und amyloide Entartung der inneren Organe auftreten und den Tod herbeiführen können.

Besonderes Interesse verdienen auch die Deformitäten, die im Gefolge der Osteomyelitis des Femur entstehen können. Es handelt sich um eigentümliche Verbiegungen des Oberschenkels, die das obere Ende, den Schaft und das untere Ende des Femur betreffen können.

Was zunächst die Verkrümmungen am oberen Ende des Femur betrifft, so können dieselben im Schenkelhals sitzen und dann einen der Coxa vara ähnlichen Zustand hervorbringen. Weiterhin können sie eine völlige Verkrümmung des oberen Femurendes erzeugen. Häufiger scheint die osteomyelitische Verkrümmung am unteren Femurende vorzukommen.

Alle diese Fälle haben, wie uns die Röntgenbilder zeigten, etwas Charakteristisches. Es handelt sich in der Regel um winklige Abknickungen des unteren Femurendes, etwa handbreit oberhalb

des Kniegelenkes, nach hinten oder auch nach innen. Es kommt in der Regel nicht zur Bildung einer Eiterung und demgemäss auch nicht zur Fistelbildung, dagegen zur Bildung zentraler Sequester, die man auf den Röntgenbildern sehr gut konstatieren kann.

Weitere Verunstaltungen des Femur können durch die Knochenneubildung erfolgen, welche mit der Bildung des Sequesters zusammenfällt. Entweder sehen wir dann den Knochen vollständig sklerosiert, oder wir finden, namentlich so lange noch im Knochen alte Abscesshöhlen zurückgeblieben sind, mächtige geschwulstige Knochenmassen sich bilden, welche die Diaphyse keulenförmig auftreiben.

Von den Deformitäten des Oberschenkels kommen für die Röntgenstrahlen noch die rachhitischen Verkrümmungen der Oberschenkeldiaphyse in Betracht, sowie die schlecht geheilten Femurfrakturen, bei denen uns die Röntgenuntersuchung einen guten Wegweiser für den Operationsplan abgeben kann.

Wir wollen hier noch einer seltenen Missbildung, der sogenannten Phocomelie, gedenken, bei der der Oberschenkelknochen ganz fehlen oder nur rudimentär vorhanden sein kann. Wir haben dieses Thema erst jüngst in einer Arbeit behandelt und haben dabei auf den Wert der Röntgenstrahlen hingewiesen, brauchen wohl aber hier nicht näher darauf einzugehen, sondern verweisen nur auf das vorhergehende Kapitel, in dem wir schon den Wert der Röntgenstrahlen bei den an der oberen Extremität vorkommenden Defekten erwähnt haben.

Von den Oberschenkelgeschwülsten sind durch die Röntgenstrahlen nachweisbar die cystischen Chondrofibrome, die reinen Enchondrome, die cartilaginären Exostosen, die periostalen und myelogenen Myome, die Sarcome und die Carcinome. Letztere kommen nur als Metastasen zur Beobachtung. Auch die Knochenechinokokken des Femur wären hier noch zu erwähnen.

Interessante und praktisch sehr wichtige Untersuchungen mit den Röntgenstrahlen über das Wachstum der unteren Femurepiphyse sowie über die Struktur der Femurepiphyse und ihr Verhalten zur Lokalisation der Knochenherde bei tuberkulösen Erkrankungen der Epiphyse hat in letzter Zeit Ludloff angestellt. Derartige Untersuchungen haben eine grosse Bedeutung zur Aufklärung dieser Fragen und verdienen auch auf andere Körperstellen übertragen zu werden.

Gehen wir nun zum Kniegelenk über, so kommen auch bei diesem zunächst wieder die Kontusionen derselben in Betracht und die Frakturen. Wie bei allen übrigen Gelenken, so können wir uns auch bei diesem Gelenk unter Heranziehung der Röntgenuntersuchung genau Aufschluss holen über die Art der Verletzung und, handelt es sich um Frakturen, über den Sitz derselben und über alles andere mehr, was wir bereits früher schon bei den übrigen Gelenken erwähnt haben.

Wie ja bekannt sein dürfte, sind alle diese Brüche binnen kurzer Zeit von einem sehr starken Bluterguss in und um das Gelenk gefolgt, wodurch notwendigerweise eine beträchtliche Weichteilsgeschwulst bedingt ist. Diese verdeckt die sonst so leicht sichtbaren Contouren der Knochen und erschwert auch bei der Palpation die genaue Festellung der Verletzung, die natürlich den Röntgenstrahlen nicht entgehen kann.

Auch bei den verschiedenen Gelenkerkrankungen, vor allem wieder bei den tuberkulösen, bringen uns die Röntgenstrahlen grossen Nutzen. Auf den Wert derselben und auf alle Einzelheiten können wir hier nicht näher wieder eingehen, oder wir müssten bereits an anderer Stelle Gesagtes wiederholen. Für die Folgezustände dieser Gelenkerkrankungen, für die Kontrakturen und Ankylosen gilt mit Bezug auf die Röntgendurchleuchtung alles das, was wir bereits bei den gleichen Deformitäten des Hüftgelenks gesagt haben. Auch hier erhalten wir Aufschluss über den Operationsplan, über die Operationsmethode und bei einer etwa vorzunehmenden Entfernung eines keilförmigen Knochenstückes aus dem Winkel der Deformität selbst über die Grösse des zu entfernenden Stückes, dessen Grösse natürlich von dem Flexionswinkel des ankylotischen Kniegelenks abhängig ist; je grösser der letztere, um so breiter muss der zu resecierende Keil sein. Forgue empfiehlt deshalb, das von einer knöchernen Ankylose gewonnene Skiagramme zu benutzen, um mittelst eines darnach angefertigten Pappmodells vor der Operation die Grösse des aus dem Knochen auszuschneidenden Keiles festzustellen. Auch bei der von Helferich empfohlenen bogenförmigen Osteotomie können wir in ähnlicher Weise verfahren.

Bezüglich der Häufigkeit des Vorkommens von Gelenkmäusen steht das Kniegelenk allen anderen Gelenken voran. Wir können diese deutlich auf den Röntgenbildern sehen und finden sie in sonst gesunden Gelenken als abgelöste Teile der knorpeligen

Gelenkflächen, häufiger jedoch bei der Arthritis deformans. Es können in einem Gelenk mehrere vorhanden sein, deren Grösse selbst die einer Wallnuss und darüber erreichen kann. Ihr Vorhandensein wird durch die Röntgenstrahlen gesichert, zumal in Fällen, in denen es uns nicht gelingt, dieselben zu fixieren und zu palpieren. Erwähnen möchten wir an dieser Stelle noch einmal, dass sich im Kniegelenk ein normaler Schatten zeigt, der dem Sesambein des Musculus semitendinosus entspricht, den man nicht als Fremdkörper bezw. Bruchstückchen auffassen darf.

Dass uns selbst bei Patellarbrüchen die Radioskopie von grossem Wert sein kann, hat v. Bergmann dargethan. Man erkennt bei diesen mit Hilfe der Röntgenstrahlen drei Hindernisse, die einer Heilung dieser Fraktur hinderlich sein können. Das erste ist die Ungleichheit der beiden Fragmente bei den meisten Querfrakturen. Das obere Fragment ist sehr gross, das untere oft sehr klein. Jede Aneinanderfügung muss in solchen Fällen misslingen, wenn anders wir nicht die Silber- oder Bronce-Aluminiumnähte anwenden.

Ferner geben uns die Röntgenstrahlen Aufschluss darüber, ob nicht etwa die beiden Bruchstücke bei der Querfraktur noch weiter geteilt sind, wie es des öfteren vorzukommen pflegt, besonders an ihren Seitenwänden, oder ob sich nicht etwa kleine, von den Bruchflächen abgesprengte Knochensplitter zwischen die Fragmente geschoben haben und so eine Heilung verhindern. Sie müssen herausgenommen oder fortgeschoben werden, um die für eine knöcherne Konsolidation notwendige Zusammenfügung zu bewerkstelligen.

Auf den Platten ist dann auch ferner noch zu erkennen, wenn sich das eine Fragment, meist das untere, so um seine Querachse gedreht hat, dass die Bruchflächen sich garnicht mehr berühren, sondern die Bruchfläche des einen Fragments auf die äussere Fläche des anderen stossen würde, wenn man sie durch die getrennte Haut zusammenschöbe. Nach v. Bergmann ist es zur genauen Koaptation immer notwendig, die Bruchstücke direkt anzufassen und zurecht zu drehen.

Zu erwähnen wären dann noch die Genua valga und vara, die rachhitischen Verkrümmungen der Unterschenkel, bei denen uns die Röntgenstrahlen in mancher Hinsicht sowohl bei Erklärung wie auch bei dem Operationsplan von grossem Nutzen sein

können, ebenso wie bei den Tumoren, bei den gerade so häufig an der Tibia vokommenden Knochencysten, bei der Tuberkulose und Osteomyelitis, von denen gerade die letzteren so häufig an der Tibia beobachtet wird. Auch über den Verbleib der bei dieser Erkrankung in die Knochenhöhlen gefüllten Jodoformknochenplomben können wir durch die Röntgenstrahlen Aufschluss erhalten, wenn wir in grösseren Intervallen Aufnahmen machen. Wir sehen deutlich, wie der von diesen ausgehende Schatten, immer kleiner wird, um endlich spurlos zu verschwinden und durch Narben- oder Knochengewebe ersetzt zu werden.

Weiter möchten wir die Röntgenstrahlen heute nicht mehr missen bei den so häufig vorkommenden Unterschenkelbrüchen und vor allem bei den Knöchelfrakturen, bei denen allen ja die Bruchformen sehr wechselnde sein können. Die Bruchlinie kann bald an beiden Knochen fast quer verlaufen, bald schräg, bald kann sie unregelmässig gezackt sein. Oefters ist noch ein Stück der vorderen oder hinteren Gelenkfläche der Tibia abgesprengt, seltener ein Stück an der Aussenfläche der Tibia abgerissen. Auch kann das untere Fragment der Tibia häufig in mehrere Stücke zerbrochen sein, das obere kann in das untere eingekeilt sein, oder es kann am unteren vorbei nach unten gleiten und sich auf dem Calcaneus feststemmen, kurz, die Verhältnisse bei derartigen Verletzungen können so verschiedenartig sein, dass es zu weit führen wird, sie alle einzeln auch nur kurz zu erwähnen. Sie alle können wir mit Hilfe der Röntgendurchleuchtung genau feststellen und danach auch unsere Therapie einrichten, die ja doch in erster Linie eine Heilung in tadelloser Stellung anstreben muss, um alle die erheblichen Beschwerden zu vermeiden, die so häufig bei fehlerhafter Stellung eintreten.

Bei den Unterschenkelbrüchen möchten wir noch einmal darauf hinweisen, nicht zu versäumen, zwei Aufnahmen zu machen. Gerade für die supramalleolaren Schräg- und Längsfrakturen der Tibia und Fibula, deren Bruchlinie von hinten nach vorn verläuft, ist die seitliche Aufnahme von besonderem Wert. Erst kürzlich wurden wieder in einer aus der Helferich'schen Klinik stammenden Dissertation mehrere derartige Fälle zusammengestellt und durch die beigegebenen Röntgenbilder veranschaulicht, bei denen die von vorn gemachten Aufnahmen auch nicht die geringste Veränderung am Knochen erkennen liessen, während die seitlichen Aufnahmen erst die bestehende Fraktur erkennen liessen.

Anschliessend hieran möchten wir sogleich die Frakturen der Tarsalknochen erwähnen, von denen ja in erster Linie die des Talus und Calcaneus in Betracht kommen. An Häufigkeit übertreffen sie bei weitem die isolierten Frakturen der übrigen Tarsalknochen, die durch die Röntgenbilder schön veranschaulicht werden können. In leichten Fällen sind die Talusfrakturen nur schwer oder garnicht zu erkennen, sie können mit Distorsionen, Knöchelfrakturen und anderen Verletzungen verwechselt oder bei der thatsächlich nicht seltenen Komplikation mit Malleolarbrüchen ganz übersehen werden. Trotz sorgfältigster Palpation und Inspektion wird selbst der beste Chirurg nicht immer imstande sein die sichere Diagnose zu stellen. Erst die Röntgenstrahlen vermögen völlige Klarheit über die Verletzung zu bringen. Ja, selbst die Deutung des Röntgogrammes kann gerade in diesen Fällen manchmal schwierig sein, aus welchem Grunde es sich wohl empfehlen dürfte, zum Vergleich eine Aufnahme vom gesunden Fuss zu machen.

Leichter zu erkennen sind schon die Frakturen des Calcaneus, wenigstens die sogen. Compressionsfrakturen, die ja am bekanntesten sind, bekannter wenigstens als die sogen. Rissfrakturen dieses Knochens, die weit seltener als jene sind, jedoch auch häufiger vorzukommen pflegen, als man früher annehmen zu müssen glaubte, eine Thatsache, die auch erst wieder besonders nach der Anwendung der Röntgenphotographie zu Tage getreten ist. Wendt fand unter 24 Calcaneusfrakturen zwei, die als Rissbrüche anzusprechen waren.

Die Kontraktion der Wadenmuskulatur scheint das hauptsächlich bei der Entstehung dieser in Betracht kommende Moment zu sein, zu dem nach Wendt auch noch das Gewicht des fallenden Körpers als in der entgegengesetzten Richtung wirkende Komponente nicht unwesentlich bei der Entstehung sein dürfte.

Die Frakturlinie verläuft bei diesen Brüchen in einer den Knochenbälkchen entsprechenden Linie.

Eine sichere Diagnose ist bei diesen Tarsalbrüchen das Haupterfordernis wegen der schweren Folgen, welche diese Frakturen nach sich ziehen und die zum grossen Teil der Fehldiagnose und damit natürlich auch der falschen Behandlung zur Last gelegt werden müssen.

Lässt z. B. das Röntgenbild bei der erwähnten Rissfraktur des Calcaneus eine stärkere Dislocation erkennen, so dürfte sich wohl die sofortige Knochennaht empfehlen; leichtere Fälle dagegen

ohne Dislocation oder blosse Fissuren heilen unter Fixation in geeigneter Stellung, ohne Störungen zu hinterlassen.

Wie leicht man sogar normale Zustände im Bezirk dieser Knochen missdeuten kann, darauf hat bereits Beck aufmerksam gemacht; denn es wäre nicht das erste Mal, dass das Os intermedium cruris seu Os trigonum Tarsi für ein vom Talus abgesprengtes Bruchfragment gehalten würde, jener Knochen, der nach Beck ein typischer Bestandteil des Säugetiertarsus ist und in einem Prozentsatz von sieben zu acht beobachtet wird.

Auch über Luxationen im Bereiche des Tarsus können uns die Röntgenstrahlen Aufschluss geben, in derselben Weise, wie bei den Luxationen der Carpalknochen.

Wir kommen nun zu den Frakturen der Metatarsalknochen, die viel häufiger sind, als man früher annahm. Auch hier sind es wieder die Röntgenstrahlen, die uns Aufklärung bringen können, da namentlich bei erheblicher Schwellung in frischen Fällen eine sichere Diagnose nur mit Hilfe dieser gestellt werden kann. Distorsionen, Kontusionen und entzündliche Schwellung waren die Diagnosen. Dass bei derartigen Fehldiagnosen nun auch die Behandlung, die gewöhlich in Massage bestand, manchmal noch die Verschiebung vermehrte, liegt wohl klar auf der Hand.

Den Röntgenstrahlen verdanken wir auch die Kenntnis eines vor der Röntgenaera stets falsch gedeuteten Krankheitsbildes, das namentlich in militärärztlichen Kreisen so häufig beobachtet werden konnte, nämlich der sogenannten Fussgeschwulst oder des sogenannten Marschoedems, jener schmerzhaften Anschwellung des Fussrückens, die bei Soldaten, namentlich nach längeren anstrengenden Märschen so oft auftrat und die man auf eine Entzündung der Sehnenscheiden, der Bänder oder auch auf eine Affektion der Tarsometatarsalgelenke zurückzuführen gewohnt war. Die Röntgenstrahlen belehrten uns aber eines besseren und zeigten uns, dass dieser Erkrankungsform fast ohne jede Ausnahme eine Fraktur eines der Metatarsalknochen zu Grunde lag. Dass mit der Erkenntnis dieser Frakturen natürlich nun auch die Therapie eine andere wurde, brauchen wir wohl nicht zu erwähnen.

Des Weiteren möchten wir noch auf eine Erkrankung hinweisen, auf die Sudeck aufmerksam machte und die sich am Fuss in Fixation der Beweglichkeit und grosser Schmerzhaftigkeit bei Belastung äussert. Sonst ist nichts nachzuweisen und erst die

Röntgenstrahlen zeigten, dass es sich in derartigen Fällen um eine starke Knochenatrophie handelte. Heisse Bäder, venöse Stauungen, Massage, Uebungen, wodurch die Knochenbildung in den atrophischen Knochen befördert wurde, brachten nach Sudecks Erfahrungen Heilung.

Bezüglich der Achillodynie können wir uns auch des öfteren Klarheit durch eine Röntgenaufnahme verschaffen. Nach Wendt ist es nicht ausgeschlossen, dass manche derartige Fälle auf Fissuren im Calcaneus, wie wir sie bereits erwähnt haben, beruhen können, ein Befund, über den wir uns leicht Aufschluss durch die Radiogramme holen können.

Zu guterletzt kämen dann noch die angeborenen Missbildungen in Frage, die Tibia- und Fibuladefekte, die Defekte der Tarsal- und Metatarsalknochen, die Deformitäten an den Zehen kurz, alle Missbildungen, die wir in der entsprechenden Weise natürlich auch bei der oberen Extremität aufgezählt haben und auf die wir deshalb auch hier verweisen können.

4. Kapitel.

Die Radiotherapie.

Von

Dr. med. H. Strebel, München.

Bezüglich der allgemeinen technischen Grundlagen der Radiotherapie mag auf die Abschnitte des I. und II. Teiles verwiesen werden.

Durch Holzknecht besitzt unsere Methode heute ein exaktes Dosierungsmittel, das physikalisch einwandfrei ist und ihrer Ausübung zu Grunde gelegt werden soll. Im Nachfolgenden seien die Ausführungen des Genannten über sein Instrument („Wiener klinische Rundschau") im Hauptsächlichen wiedergegeben:

„Goldstein (Berlin) teilte mit, dass gewisse Salze im Kathodenlicht Farbenveränderungen erleiden.*) Goldstein vertritt ausserdem die Hypothese, dass sowohl die Kathodenstrahlen, als auch die Röntgen- und Becquerelstrahlen neben ihren sonstigen bedeutenden Verschiedenheiten die eine Eigenschaft gemeinsam haben, dass sie dort, wo sie auftreten und absorbiert werden, sich in ultraviolettes Licht verwandeln und dass dieses alle Absorptionswirkungen hervorbringt. Er stützt diese Ansicht auf die Thatsache, dass die zahlreichen Absorptionswirkungen dieser vier Strahlengattungen, die ich hier nicht aufzählen will, einander gleich sind. Ist die Hypothese richtig oder wenigstens fruchtbar, so müssten — so schloss ich —

*) Sitzungsber. d. k. Akad. d. W. zu Berlin, p. 937, 1894.

die Goldstein'schen Nachfarben nicht nur durch die Kathodenstrahlen, sondern auch durch die Röntgenstrahlen erzeugt werden können. Zwar haben Müller und Büttner*) das Gegenteil behauptet. Meine Versuche fielen aber positiv aus und Herrn Professor Goldstein danke ich dafür, dass er diese Entdeckung der Berliner Physikalischen Gesellschaft vor einigen Monaten vorgelegt hat. Es galt nun, aus der grossen Reihe von Salzen eines zu wählen, welches den diversen Anforderungen entspricht.

Sehr interessant scheinen die Vorgänge in den Salzen zu sein, welche zur Färbung führen. Wenn man nämlich z. B. chemisch reines Natriumsulfat (es ist im Handel nicht erhältlich und kann nur durch fraktioniertes Umkrystallisieren hergestellt werden) bestrahlt, so färbt es sich nicht. Wenn man chemisch reines Natriumchlorid bestrahlt, so färbt es sich schwach gelb. Mengt man beide, so färben sie sich im Röntgenlicht schwach gelb.

Schmilzt man beide, so färben sie sich nach dem Erkalten violett-rosa. Durch das Schmelzen entsteht im flüssigen Zustande eine Lösung der beiden ineinander, welche dann fest wird. Wenn man dieses merkwürdige Verhalten hört, so denkt man an ein ähnliches Verhalten flüssiger Lösungen bezüglich der elektrischen Leitungsfähigkeit. Reines Wasser leitet den elektrischen Strom nicht, reine Schwefelsäure leitet ihn auch nicht. Die Lösung beider leiten ihn. Als Ursache wird angenommen, dass in den Lösungen Dissociationen beider Bestandteile vor sich gehen, also dass die Lösung nicht blos Na_2SO_4-Moleküle und Na Cl-Moleküle enthält, sondern auch solche Moleküle beider, deren Atome ihren festen Zusammenhang in gewissem Masse verloren haben und einzeln oder in losen Gruppen stehen. Diese dissocierten Teile der Lösung leiten. Solche dissocierte Teile der festen Lösung des Natriumsulfats im Kaliumchlorid mögen es auch sein, welche sich durch die Röntgenstrahlen färben. Die Mischungsverhältnisse haben einen grossen Einfluss auf die Tiefe der Färbung.

Man bestrahlt, wie immer man will, so lange, bis der Reagenskörper den für die gewünschte Reaktion verzeichneten (siehe unten) Färbungsgrad erreicht hat. Dieser wird an einer Vergleichsskala abgelesen. Idiosynkrasie der Haut kommt, wie längst bewiesen ist, nicht vor.

---

*) Lehrbuch. Knapp, Halle.

Das aus den genannten Reagenskörpern und der Standardskala bestehende „Chromoradiometer“*) dient also der exakten quantitativen Bestimmung des von der Haut absorbierten Röntgenlichtes.

Es tritt an Stelle von anderen auf Schätzung beruhenden schwierigen Methoden. Vor ihnen hat es die Sicherheit, die leichte Erlernbarkeit und Handhabung, die Ermöglichung jeder, vor allem auch der schnellsten Applikation der richtigen Menge voraus. Zwei oder drei Röhren können hintereinander in den Stromkreis des Induktors geschaltet werden, ohne dass die Dosierung dadurch wie früher unmöglich geworden wäre. Die nun gegebene zahlenmässige Vergleichbarkeit der litterarischen Angaben der eigenen Resultate ermöglichen jene weiteste Verbreitung, die ihre Erfolge der Radiotherapie nur deshalb nicht gebracht haben, weil es bisher an einer exakten und leichten Dosierung gefehlt hat. Die beliebig erzeugbaren Effekte können nun zum weiteren Ausbau des Verfahrens verwertet werden, zur genaueren Bestimmung derjenigen Lichtmengen, welche die einzelnen Körperstellen und Altersstufen und die verschiedenen pathologischen Prozesse benötigen, um darauf mit einer bestimmten Reaktionshöhe zu antworten, und zur genaueren Bestimmung derjenigen Reaktionshöhen und Applikationsarten, welche bei den einzelnen Prozessen den günstigsten Effekt erzielen. Es ist ferner die Möglichkeit der Statuierung einer Maximaldosis, die Arzt und Patienten auf gleiche Weise schützt, gegeben. Desgleichen sind nun exakte Studien über die Wirkung auf niedrigere Lebewesen, besonders auf die Bakterien ermöglicht. Das Chromoradiometer dient weiter der Bestimmung der Dauer der Leistungsfähigkeit der Röntgeninstrumentarien (Einheit: Stunden—Meter *H*), zur Bewertung der Schutzmittel, ferner zur Messung der Becquerelstrahlung, wobei die radioaktive Substanz dem Reagenskörper aufgeschichtet wird: Nach Erscheinen der Färbung reduziert man auf die Einheit: Stunden *H*.“

Wirkungen der Röntgenstrahlen.

Fortgesetzte Bestrahlungen geben Anlass zur Entstehung einer typischen Reaktion auf der Haut an den bestrahlten Stellen. Die intensivste Reaktion tritt auf an den Stellen, wo die Strahlen

*) Durch alle Erzeuger radiologischer Instrumente erhältlich.

des Röntgenrohres resp. der Anti-Kathode die Haut senkrecht treffen. Um diese Stelle herum ist die Reaktion weniger heftig, weil die Strahlung hier im Winkel auffällt. Nach Freund sind die ersten Zeichen der beginnenden Reaktion: Turgescenz der Haut, Aenderungen in der Pigmentation der Hautgebilde, Erytheme, Haarlockerungen, subjektive Symptome. Diese Wirkungen treten nicht sofort nach der Bestrahlung auf, sondern durch allmähliche Kumulation erst längere Zeit nach den ersten Bestrahlungen. Bei weichem Rohr nach etwa 14 Tagen. Durch starke Bestrahlungen steigert sich die einfache Reaktion zum Röntgenschorf, zur akuten Röntgenstrahlen-Dermatitis, die (nach Kienböck) in verschiedenen Graden auftreten kann. Diese Grade, erzeugt durch eine intensive oder mehrere schwächere Bestrahlungen sind folgende:

Erste Stufe: Vollständiges Effluvium der Haare ohne begleitende sichtbare Entzündung.

Zweite Stufe: Hyperämie, Temperaturerhöhung, Infiltration der Haut (Cutis und Epidermis), Pigmentierung, Jucken.

Dritte Stufe: Dermatitis bullosa mit Durchtränkung und Zerklüftung der Epidermis zu Blasen, heftiger Schmerz, Exfoliation, Excoriation, katarrhalische epitheliale Eiterungen.

Vierte Stufe: Dermatitis gangränosa mit tiefer Zerstörung der Haut, Ulceration.

Auf die erste Exposition mit genügend starker Strahlendosis erfolgt eine lange Latenz ohne alle Erscheinungen. Nach 12—16 Tagen beginnt erst die Lockerung der Haare oder die stärkere Reaktionserscheinung. Im ersten Grad tritt nach 6—8 Wochen Restitution der Haare ein, die bereits nach 3—4 Monaten vollständig ist. Auch beim zweiten und dritten Grade bilden sich die Erscheinungen nach einigen Wochen, manchmal allerdings auch erst nach einigen Monaten zurück (Atrophie der Cutis und der Papillen mit zarten Narben). Die Dermatitis vierten Grades ist von längerer Dauer, und heilen die Ulcera erst nach vielen Monaten. Nachbleiben von Pigmentanomalien, Teleangiektasie, Sklerodermie. Man muss jedoch auf viele Abweichungen der Dermatitis von der Regel gefasst sein, besonders in den Fällen, wo schon auf kleine Dosen eine abnorm rasche und starke Reaktion auftritt. Dieser durch einmalige oder öftere zu therapeutischen Zwecken unternommenen resp. erzeugten akuten Dermatitis steht noch eine chronische Form der Dermatitis

gegenüber, die durch öftere kürzere Expositionen in längeren Zeiträumen sich ausbildet, besonders bei Aerzten, Physikern, Elektrikern: dauernde Alopecie, Atrophie, Hyperpigmentierung, „Röntgenhaut", Störungen im Nagelwachstum, Nekrosen mit torpidem Charakter und Progression in die Tiefe, Zerstörungen von Sehnen, Gelenkbändern. Diese Form zeigt geringe Neigung zur Heilung und besteht oft jahrelang.

Bei der Abheilung der Dermatitis treten Veränderungen in der Haut auf, welche, wie wir später sehen werden, im Sinne der Abheilung bestimmter gleichzeitig vorhandener pathologischer Zustände der Haut verwendet werden können.

Früher hat man vor Antritt der eigentlichen Behandlung eine Probebestrahlung empfohlen, um eventuelle abnorme Reaktion der Haut zu erkennen. Dies Verfahren ist heute antiquiert, besonders bei weichem Rohr. Das harte Rohr giebt überhaupt in 10 Min. keine Reaktion, und bei weichem Rohr bedeuten 10 Min. z. B. schon die halbe Dosis, so dass also die Applikation lediglich die Beurteilung stören würde und ohne einen Vorteil zu gewähren. Ausserdem bietet das Chromoradiometer nach Ansicht kompetenter Beurteiler heute alle mögliche Sicherheit. Jede abnorme Reaktion ist Folge einer Ueberdosirung. Deshalb darf man sich heute nicht mehr an Bestrahlungszeiten und Bestrahlungsentfernungen halten, sondern nur an die jeweils erzielte Verfärbung der Reagenskörper.

Verschiedene Dosierungsmethoden.

Es gab früher hauptsächlich 2 Methoden der Bestrahlung: Freund tritt für die Behandlung mit hartem Rohr ein und bestrahlt solange, bis sich die ersten schwachen Zeichen einer Reaktion einstellen (siehe oben). Kienböck bestrahlt mit weichem Rohr nur kurze Zeit und wartet dann eine Reaktion ab. Das harte Rohr giebt nach Freund keine starken Erscheinungen. Fehlerhaft ist auf alle Fälle eine Methode, die mit weichem Rohre fortbestrahlt bis zum Auftreten deutlicher Entzündungserscheinungen führt.

Methode von Kienböck:

1. Das mit mittlerer Helligkeit leuchtende Rohr wird auf weiche oder mittelweiche Strahlung gestellt, muss auf ca. 1 Meter Entfernung den Thorax eines Erwachsenen gut durchleuchten. Rohrabstand 15—25 cm von der Haut. Eine Normal-Exposition

= 20 Minuten (die Haare gehen nach 14 Tagen unter begleitendem, mehrere Tage anhaltendem Erythem aus, bei Sykosis fallen die Haare schon nach 8 Tagen aus, Lupusgewebe exfoliiert nach circa 1 Woche.)

2. Man giebt täglich eine Sitzung von recht geringer Wirksamkeit (schwach leuchtender Röhre) mit 5 Minuten Dauer, bis die Reaktion erscheint. Man kann die einzelne Exposition gerade von jener Intensität wählen, dass nach 2 Wochen leichte Erscheinungen beginnen und sich nach einigen Tagen auf die gewünschte normale Reaktion steigern.

3. Es wird

a) entweder zweimal wöchentlich eine mittelkräftig wirkende Sitzung gegeben, bis der Effekt nach ca. 14 Tagen eintritt,

b) oder es wird eine Serie von mehreren, z. B. 3—4 Sitzungen, in Tagespausen aufeinander folgend gegeben, von mittelstarker Intensität.

Bei einer jeden dieser Methoden handelt man nach Kienböck korrekt. Zu empfehlen sind die Methoden 1 und 3. Nach eingetretener Reaktion muss diese vollständig bis zu ihrer Abheilung abgewartet werden, ehe man nötigenfalls mit neuen Sitzungen beginnt. Sollte wegen ungenügender Exposition eine Reaktion nicht eingetreten sein, dann kann man ebenfalls eine annähernd normale Exposition versuchen. Ist eine Reaktion nach 3 Wochen noch nicht intensiv, darf man leicht nachbestrahlen. Die zweite Etappe der Behandlung soll erst 6 Wochen nach Ablauf der ersten Reaktion beginnen; je früher man nachbestrahlt, desto empfindlicher ist die Haut.

Methode von Freund:

Hartes Rohr, Abstand zu Beginn 15 cm, dann herabgehen bis auf 5 cm; Sitzungsdauer anfangs 5 Minuten, allmählich verlängern bis auf 10 Min. Es wird bestrahlt, bis der therapeutische Erfolg eintritt, doch sind beim ersten Auftreten schwacher Reaktionen die Sitzungen auszusetzen bis nach dem Verschwinden dieser.

Methode von Scholtz:

Beginnt mit einer relativ kräftigen Bestrahlung, um möglichst schnell die Schwelle der Reaktion zu erreichen. Dann werden die folgenden milden Bestrahlungen so lange fortgesetzt, bis der gewünschte Erfolg auftritt.

Methode von Lion:

Rohrabstand anfangs 30—50 cm, Sitzungsdauer 5—10 Min., später Rohrabstand 5—10 cm, Dauer bis zu 50 Minuten.

Methode von Oudin:

Weiches Rohr, auf 5 cm Abstand von $^1/_2$ Min. Dauer langsam zu 5 Min. steigend, bis sich Reaktion zeigt.

Methode von Strebel:

Weiches Rohr auf 25 cm Abstand 10 Min. lang, um sich möglichst rasch der Reaktion zu nähern, die weiteren Sitzungen geschehen entweder mit hartem Rohr 10—15 Min. lang auf gleiche Distanz, täglich bis zweitäglich unter Kontrolle des Chromo-Radiometers so lange, bis die gewünschte Verfärbung der Reagenskörper erreicht ist, oder mit mässig weichem Rohr auf etwa 50 cm Entfernung unter gleichen Bedingungen. Dann wird ausgesetzt, um eventuelle Reaktion abzuwarten. Tritt diese nicht ein, wird mit hartem Rohr auf 25 cm., mit weichem Rohr auf 50 cm weiterbestrahlt. Diese Methode hat spezielle Giltigkeit für Lupusbehandlung. Zur Erzielung von Epilation richte ich mich nach Kienböck. Bei sehr empfindlichem Gewebe (Ekzem) verwende ich auch meinen Strahlendämpfer, um jede heftige Reaktion auszuschliessen.

Die bisher aufgezählten Methoden gestatten alle nur schätzungsweise Dosierung im Gegensatz zur Methode Holzknecht, welche mit Chromoradiometer arbeitet. Es sind die vorgenannten Methoden lediglich der Vollständigkeit halber angeführt.

Die für die Chromoradiametet von Holzknecht vorläufig vorgeschriebenen Zahlen sind folgende:

Normale Haut des Gesichtes, 1. Grad, jugendliche Individuen 3 *H*, ältere 4 *H*; 2. Grad 5—7 *H*. Beugeflächen der Gelenke 1. Grad 4—6 *H*, 2. Grad 6—8 *H*. Streckseiten der Gelenke, Rumpf, behaarter Kopf, Handteller und Fusssohlen 1. Grad 5—7 *H*, 2. Grad 7—14 *H*. Unter 2. Grad ist Excoriation mit Heilung ohne Narbenbildung, nicht Exulceration verstanden.

Durch oder neben einem pathologischen Process oder eine vorhergehende Röntgenreaktion entzündlich veränderte Haut: je nach Höhe der Entzündung dort, wo für normale Haut 4—6 berechnet wurden, um 1—2 *H* weniger, wo über 6 *H*, um 2—3 *H* weniger.

Bakterien in Plattenaussaaten durchschnittlich 20 *H* in einer Sitzung gegeben.

Maximaldosis (vorläufiger Vorschlag), welche nur im Bewusstsein der folgenden vielwöchentlichen Excoriation überschritten werden soll: pro mense 10 *H*.

Nochmals hervorzuheben ist: Man vergesse nicht, den Patienten vor Antritt der Behandlung vollständig mit allen möglichen Situationen der Behandlung und ihrer Effekte vertraut zu machen, und thue dies womöglich in Gegenwart einer dritten Person, oder lasse sich einen Schein ausstellen, der dem Arzt für alle Fälle Immunität garantiert.

Man bestrahle nie mit weichem Rohr kontinuierlich bis zum Auftreten der Entzündung.

Man bestrahle nie eine bereits (durch Röntgenstrahlung) entzündete Fläche — man beginne nicht zu früh eine neue Behandlung nach abgeheilter Reaktion, und wenn dies der Fall, gehe man nur mit halber Stärke vor.

Man vergesse nie den ausgedehntesten Bleischutz.

Ein wichtiges Kapitel bildet daher der Schutz gegen die Röntgenstrahlen. Es darf nur die kranke Hautstelle bestrahlt werden, es gilt die gesunde Haut zu schützen. Dies geschieht durch Bleiplatten von 0,2—1,0 mm Dicke, welche mit Scheere, Hammer und Messer zu Masken hergerichtet werden, aus denen eine Oeffnung von der Grösse und Form der zu bestrahlenden Fläche ausgeschnitten wird. Am einfachsten gelingt die Absicht mit Hilfe des von mir angegebenen Behandlungsstatives. An einer drehbaren, nach oben ausziehbaren Stange ist eine Holzplatte angebracht mit einem schiefertafelgrossen viereckigen Ausschnitt. In diesen passt ein abnehmbarer Holzrahmen, der durch eine Bleiplatte (auswechselbar) verschlossen werden kann. In diese Bleiplatte wird eine Oeffnung eingeschnitten, entsprechend der zu bestrahlenden Fläche. Weiterhin hängt an der untern Kante der Holzplatte ein 60 cm langer Bleischurz. Der Patient sitzt hinter dem Schirm, dessen sämtliche Holzteile mit Blei verschalt sind, und drückt die zu bestrahlende Hautstelle gegen den offenen Ausschnitt hin. Der übrige Körper ist so vollständig gegen die Strahlen geschützt. Man kann mit dem Stativ so ziemlich allen Situationen gerecht werden, ohne dass zeitraubende Manipulationen für Herstellung von Masken etc. notwendig sind. Für Kinnbestrahlungen ist eine eigene Hilfsvorrichtung vorgesehen in Gestalt einer horizontalen, mit Ausschnitt versehenen Platte, welche am oberen Rande der senkrechten Holzfahne angebracht ist. Im Uebrigen wird jeder findige Kopf sich leicht ein Verfahren zurecht machen, um den nötigen Schutz zu erhalten.

Der Arzt muss sich natürlich auch gegen die Strahlen schützen, was am einfachsten dadurch geschieht, dass er sich nur für kurze Momente in die direkte Strahlungslinie begiebt, und sich sonst meist seitlich von dieser aufhält. Eine kurze Untersuchung mit dem Leuchtschirm wird selbst bei täglicher Vornahme nicht leicht zur gefürchteten chronischen Dermatitis führen. Die Röntgenhand gehört glücklicherweise zu den Seltenheiten.

Für Bestrahlung von Höhlen (Nasen-, Rachen-, Ohrengang u. s. w.) verwendet man am einfachsten kleine kurze Bleitrichter, die mit ihrer Längsaxe in die Verlängerung der intensivsten Strahlenlinie eingestellt werden, wobei sie durch einige Drahtnähte über einem entsprechenden Ausschnitt der Bleiplatte meines Stativs angeheftet werden.

Behandlung der Dermatitis.

Die einfache Dermatitis ersten und zweiten Grades wird nur mit Auflegen von indifferenten Salben behandelt, ev. mit Verband. Feuchte Verbände macerieren die Haut. Das Röntgen-Ulcus dritten und vierten Grades verträgt absolut keine reizende Behandlung. Am besten eignen sich auch hier Verbände mit einfacher Vaseline, Olivenöl. Jedes Medikament, jeder stärkere Verbanddruck, ja das einfache Tageslicht, starkes Abwischen etc. wirken schon schädigend. Deshalb sind alle Desinficienzien zu vermeiden. Erfahrungsgemäss neigen Röntgenwundflächen wenig zur Infektion. Die nötigen Abwaschungen mache man ohne Schwamm und ohne Watte durch einfaches Ueberrieseln der eitrigen Flächen mit lauwarmem Wasser. Eventuell thut ausnahmsweise einmal ein Verband mit physiologischer Kochsalzlösung gute Dienste. Meist aber wird auch dieser nicht gut vertragen. Guten Nutzen bringen manchmal Bestrahlungen mit rotem Licht unter mässiger Wärmeausgabe, wobei man die Haut gegen das Eintrocknen durch gleichzeitiges Auflegen von Fett schützen muss, weil sonst heftige Schmerzen auftreten. Im allgemeinen lässt sich überhaupt keine Regel feststellen, da jeder Fall sich anders verhält, und Probieren geht hier über Studieren. Mit schmerzstillenden Salben (Orthoform, Cocain) muss man vorsichtig sein. Bei zurückbleibender Sklerodermie können Injektionen von Thiosinamin gute Dienste thun. (Salomon.) Salicylsalben beschränken die übermässige Hornbildung und Schuppung. Zurückbleibende Pigmentanomalien kann man später versuchen

durch die Schälwirkung einer heftigen Lichtreaktion mit konzentriertem kalten Licht zum Verschwinden zu bringen. Man vergesse dabei nicht, dass die Haut über einem abgeheiltem Ulcus ungemein empfindlich ist, und dass Lichtreaktionen hier länger zum Abheilen brauchen, als bei intakter Haut. Etwaige einzelne Niveaudepressionen können mit subcutaner oder intracutaner Injektion von flüssiger Vaseline ausgeglichen werden. Die rein chirurgische Behandlung von Röntgen-Ulcerationen ergab, soviel ich weiss, keine befriedigenden Resultate.

Detailbehandlung verschiedener Krankheitsformen.

1. Hypertrichosis. Methode von Freund: Hartes Rohr, Distanz 15 cm von Glaswand bis Haut. Richtiger Maskenschutz für Gesicht, Hals Brust, Kopfhaar! Nach 20–25 Sitzungen erste Zeichen der Hautreaktion, Aussetzen der Behandlung. Nach einigen Tagen Ausfallen der Haare spontan beim Waschen oder auf Zug, leichtes Brennen der Haut. Nach 5—8 Tagen verschwinden alle Erscheinungen, auch die etwa aufgetretenen Pigmentierungen. Nach 6—8 Wochen wachsen die Haare wieder bis zu ihrer vollen Länge (nach meinen Erfahrungen oft sogar stärker als früher). Manchmal kommt die Behaarung auch erst nach Monaten wieder. Bestrahlt man nun neuerdings, bevor das Wiederwachsen auftritt, also 4 bis 6 Wochen nach dem ersten Haarausfall, so kommen die Haare nicht wieder. Dies muss jedoch 12—18 Monate lang systematisch durchgeführt werden, um Dauerresultate zu erzielen.

Ich bezweifle keinen Augenblick, dass Freund thatsächlich derartige schöne Resultate erhalten hat, aber ich muss sagen, dass ich mit dem harten Rohr keine befriedigenden Resultate erhalten habe, weil es ungemein schwer ist, die Patienten so lange zu halten, als das genannte Verfahren benötigt. Bei auswärtigen Patienten lässt sich dasselbe garnicht durchführen. Auch kommt die Behandlung selbst viel zu teuer. Deshalb habe ich mich zur Durchführung der Methode nach Kienböck entschlossen, welche mit weichem Rohr vorgeht (siehe vorn). Es sind aber auch bei diesem Verfahren öftere Nachbehandlungen nötig, und habe ich den Eindruck, als ob nur da ein Dauerresultat zu erhalten wäre, wo eine Dermatitis mindestens des zweiten Grades durchgemacht wurde. Die Bemessung einer solchen ist aber äusserst schwierig, und tritt leicht ein höherer Entzündungsgrad auf, der bei der Abheilung zu kosmetisch nicht

einwandfreien Resultaten führen kann: flache Niveaudepressionen, leicht runzelige Haut, starke Pigmentlinien am Rande des Bestrahlungsfeldes, differente Rötungen. Auch bei Dermatitis zweiten Grades bleibt öfter für längere Zeit eine auffallende Rauhigkeit zurück. Im ganzen ist die Behandlung der Hypertrichosis zu rein kosmetischen Zwecken deswegen undankbar, weil die Patientinnen selten ganz zufrieden sind. Auf keinen Fall lasse man sich durch das Drängen derselben zu einem aggressiven Vorgehen bewegen.

Holzknecht giebt für sein Chromo-Radiometer 3—4 H (Einheitsbeziehung) an. Ich erinnere noch daran, dass man unter keinen Umständen so bestrahlen darf, dass bei Bestrahlung eines neuen Bezirkes die Ränder eines bereits bestrahlten nochmals mitbestrahlt werden, weil dann hier bedeutend heftigere Reaktionen auftreten. Man hat bei Epilation des ganzen Gesichtes 4 Rohrpositionen resp. Bestrahlungsfelder vorzusehen: zwei seitliche, eine vorne am Kinn, eine unter dem Kinn. Ich mache ferner darauf aufmerksam, dass man unter Umständen eine heftige Dermatitis erzielt, ohne dass die Haare ausfallen, öfters auch fallen sie ganz spät aus. Gelegentlich bekommt man allerdings einen schönen Schulfall, wo alles nach Wunsch geht, manchmal aber möchte man auch die Haare mit Gewalt ausraufen, um einen Effekt zu sehen. Damen mit einfachem Lanugo weise man unerbittlich zurück und nehme nur solche Fälle in Angriff, wo wirklich kosmetisch störender Haarwuchs vorhanden ist.

Während man bei der rein kosmetischen Epilation aus naheliegenden Gründen ängstlich sein muss, ist dies bei den folgenden Erkrankungen nicht mehr so der Fall, weil man hier gewöhnlich eine kranke Haut vor sich hat, die an sich kosmetisch verdorben ist. Auch stellt sich hier der Effekt leichter ein. Für Röntgenbehandlung eignen sich alle Hautkrankheiten, wo die zeitweilige Epilation Vorbedingung der Heilung ist, und ist hier unsere Behandlung jeder anderen vorzuziehen.

2. Sycosis simplex, S. parasitaria, Folliculitis barbae. Hartes Rohr, 4—6 Sitzungen von 8—10 Min. Dauer, 15 cm Abstand, bringt bei eitriger Hautfläche oft schon Heileffekte unter Eintrocknung des Prozesses hervor. Tritt dunklere Färbuug auf, ist also Reaktion im Anzug, muss mit der Bestrahlung aufgehört werden. Die letzten 8 Tage vor erwartetem Haarausfall darf nicht rasiert werden. Wenn sich Recidive zeigen, wird in einigen Wochen Nachbehandlung nötig. Mit weichem Rohr braucht man nur wenig Sitzungen,

Chromo-Radiometer 3 H. Im ganzen soll auch mit hartem Rohr nicht länger als 14 Tage bestrahlt werden (Freund), bei den Formen, wo sich die flachen kleinen roten Knötchen mit leichten Schuppen bedeckt zeigen. Weigert sich der Kranke, seinen Bart für einige Zeit zu opfern, so bestrahlt man mässig stark bis zum Rückgang der Affektion in dreiwöchentlichen Zwischenräumen, bis keine Nachschübe mehr kommen. (Freund.) Radikale Heilung ist möglich, doch treten öfter Recidive auf, die aber durch Nachbestrahlung leicht behandelt werden können.

Bei Herpes tonsurans capitis sind wechselnde Erfolge zu verzeichnen. Chromo-Radiometer 4 H.

3. Blepharitis im Anschluss an Sycosis, Ekzem und andere Hautkrankheiten, auch spontan bestehende Formen behandelt man mit ziemlicher Sicherheit aussichtsvoll. Die Behandlung geschieht am besten bei geschlossenen, aber nicht fest zusammengepressten Augenlidern mit hartem Rohr, wobei die Strahlenrichtung schräg von oben her kommen soll. Man kann öfter bemerken, dass bestehende Bindehautkatarrhe bei einer zufällig vorgenommenen Röntgenbehandlung besser werden. Zum Ausfall der Wimpern braucht es garnicht zu kommen.

4. Favus. Epilation ist Vorbedingung der Heilung, und zwar muss der ganze Kopf enthaart werden wegen der sicheren Neuansteckung von nicht behandelten Herden aus. (Freund.) Hartes Rohr in 4 Positionen von 25—30 cm Abstand in Sitzungen von 6—10 Minuten. Nach 2—3 Wochen Ausfall der Haare. Wenn in 10 Wochen kein Recidiv auftaucht, ist die Heilung vollkommen. Freund giebt zur Nachbehandlung eine Salbe von Carbolsäure-Glycerin 2,5, Lanolin 50,0; morgens und abends aufzutragen und fest einzureiben. Bei auftretendem Recidiv Nachbehandlung mit Röntgenstrahlen, aber ohne starke Reaktionen, wei lsonst die Haare nicht mehr nachwachsen. Bei weichem Rohr Chromo-Radiometer 4 H.

5. Alopecia areata (Kienböck). Chromo-Radiometer bei Alop. areat barb. 3—4 H., capill. 5 H. Bei totaler Alopecie des Kopfes Totalbestrahlung in 4—6 Positionen. Bei einstelliger oder multipler Alopecie Bestrahlung der einzelnen Stellen mit 20—30 Minuten auf 20 cm Distanz. Man bestrahle aber 1—2 cm in das gesunde Haarmaterial hinein, da sonst leicht Recidiv erfolgt (Holzknecht). Wo die Methode überhaupt wirksam ist, giebt sie sehr schöne Resultate. Es lässt sich aber nicht im Voraus bestimmen, welche

Fälle sich eignen; man weiss nur, dass sich eine Anzahl von Fällen refractär verhält. Ich habe die Methode wirksam gesehen in Fällen, wo ich selbst vorher Reizbehandlung durch Medikamente, Faradisation, Kataphorese, Massage, Licht längere Zeit hindurch vergeblich versucht hatte.

6. Seborrhöa capitis mit Haarausfall lässt sich ebenfalls durch mässige Behandlung mit hartem Rohr ohne Erzeugung von Reaktionen, in grösseren Zeiträumen wiederholt, günstig beeinflussen, vorausgesetzt, dass überhaupt noch regenerationsfähige Haarelemente vorhanden sind (Strebel). Ich selbst habe absichtlich öfter den ganzen vorhandenen Lanugo entfernt und danach noch eine deutliche Beeinflussung des Haarwachstums erzielen können, allerdings unter gleichzeitiger Zwischenbehandlung mit kaltem Licht.

7. Eczema acut. und chron. lassen sich manchmal sehr gut beeinflussen. In solchen Fällen tritt schon nach wenigen Sitzungen (hartes Rohr) Aufhören des Nässens, des Juckens, Austrocknung der Haut ein. Ich habe aber auch häufige Recidive gesehen. Ich behandle jetzt so, dass ich die Strahlung durch den über die Haut gelegten Strahlendämpfer gehen lasse, um möglichst geringe Reizung zu erhalten. Man kann manchmal zauberhafte Wirkungen sehen, öfter aber erlebt man Enttäuschungen. Der Frage der Dauerheilung stehe ich skeptisch gegenüber. Speziell gilt dies für alle Fälle, wo der Hautprozess durch innere Vorgänge bedingt wird.

8. Psoriasis wurde von einigen Autoren mit gutem Effekt behandelt. Scholtz behandelt grosse Plaques aus weiter Entfernung 2—3 Tage hindurch täglich, dann jeden zweiten und schliesslich jeden dritten Tag. Freund bestrahlt aus ca. 30 cm Entfernung in Sitzungen von 10—12 Minuten. Nach 3—4 Sitzungen werden die Flecken lichter, am Rande zeigt sich gelbbraunes Pigment, die Schuppen fallen ab, die Rötung schwindet. Das Pigment dehnt sich auf den Psoriasis-Herd aus, um dann ganz zu verschwinden. Ich muss sagen, dass ich von der Behandlung nicht entzückt war, indem ich rasch Recidive auftreten sah. Auch macht die Zerstreutheit des Prozesses grosse Schwierigkeiten. Chromo-Radiometer 2—3 H., nach 8 Tagen leichte Reaktion!

9. Prurigo. Auch bei dieser Affektion kann eine Bestrahlung versucht werden; man wird zwar keine radikalen Heilungen erreichen, aber doch manchmal Verschwinden des Juckens, event. vorübergehende Sistierung der Knötchenbildung.

10. Acne vulgaris, — rosacea. Rhinophyma. Furunculose. Die Acne wird von Gautier in täglichen Sitzungen von 5—6 Minuten Dauer behandelt, Rohrabstand 30 cm. Angeblich nach 6 Sitzungen schon deutlicher Erfolg. Freund und Schiff behandeln mit hartem Rohr und geben guten Erfolg an. Ich selbst behandle stets mit weichem Rohr. Chromo-Radiometer 3 H. für jede Stelle, erreicht in 1—3 Sitzungen. Nach 14 Tagen Reaktion. Den schönsten Erfolg erhielt ich in einigen schweren Fällen von Acne vulgaris, wenn ich die Reaktion bis zur Dermatitis mit Exfoliation steigerte. Rohrabstand 20—25 cm. Das Gesicht in 3 Positionen bestrahlen. Nach Abheilen der Reaktion und 14 Tage darüber nochmalige Wiederholung der Reaktion. Ich konnte so mehrfach schönen Dauererfolg erreichen. Unangenehm ist manchmal das Auftreten einer braunen Pigmentierung, die lange Zeit zum Verschwinden braucht. Gleichzeitig vorhandene starke Comedonenbildung heilt mit ab. Acne rosacea behandle ich in gleicher Weise mit schönem Effekt unter lebhafter Reaktionserzeugung.

Bei Rhinophyma erzeugte ich absichlich eine schwerere Dermatitis dritten Grades, die monatelang zur Abheilung brauchte. Nach Abheilung derselben waren auch die knolligen Auswüchse zur Resorption gelangt und ein vom Patienten dankbar begrüsster kosmetischer Effekt erreicht.

Furunculose behandelte ich mit weichem Rohr und 1—2 Reaktionen unter gutem Effekt.

11. Naevus vasculosus wurde von Jutassy unter Erzeugung einer schweren Dermatitis behandelt und angeblich mit schönem Effekt geheilt. Andere Beobachter hatten keine oder schlechte Resultate. Jedenfalls ist hier Vorsicht sehr geboten, da Gelegenheit zu unangenehmen Blutungen geschaffen wird.

12. Lupus erythematodes ist nur mit unsicherem Effekt zu behandeln, Recidive sind häufig, ja sogar Verschlimmerung möglich. Freund behandelt mit hartem Rohr, andere mit weichem unter Erzeugung heftiger Dermatitis. Ich bin bis jetzt persönlich vom Resultat nicht befriedigt. Jedenfalls aber ist hier das harte Rohr und die Vermeidung heftiger Reaktion vorzuziehen.

13. Lupus vulgaris wurde nach Freund und Schiff mit hartem Rohr behandelt. Nach einer grösseren Anzahl von Sitzungen Auftreten einer mässigen Reaktion mit Dunklerwerden der Knötchen, leichter Schwellung des lupösen Gebietes, Abstossung und Ausfallen

der Knötchen, sodass kleine, wie mit dem Locheisen ausgeschlagene Substanzverluste zurückbleiben (Schiff). Die Substanzverluste flachen sich ab und es bilden sich kleine Narben von schönem Aussehen. Mit dem langsamen Abschwellen zeigen sich etwaige tiefer gelegene Knoten, die nach einigen Wochen Neubehandlung erfordern. Zur Abheilung einer handgrossen Lupusfläche braucht man ein Jahr (Freund).

Das weiche Rohr ruft in kurzer Zeit eine lebhafte Reaktion hervor. Chromo-Radiometer 4—5 H. Die etwa hervorgerufenen Ulcera heilen nur langsam und sind recht schmerzhaft. Beide Methoden müssen wiederholt werden. Die Narbenbildung ist in beiden Fällen nicht immer eine sehr ideale. Sklerodermie, Teleangiektasie bleibt manchmal zurück. In einzelnen Fällen führe ich die Röntgenbestrahlung als Vorbereitungskur für eine Lichtbehandlung durch, weil man dann raschere Effekte mit der letzteren erzielt.

Auch bei Skrophuloderma und tuberkulösen Geschwüren kann man die Bestrahlung mit Erfolg anwenden.

14. Ulcus rodens, Epitheliom, Cancroid. Im allgemeinen erhält man schöne Effekte. Man kommt mit hartem und weichem Rohr (Chromo-Radiometer 5 H) zum Ziel. Bei Auftreten von Reaktion muss man aussetzen. Bei weichem Rohr kann schon eine Sitzung, wenn sie Reaktion hervorruft, zur Ueberhäutung führen. Bei weichem Rohr tritt immer Reaktion auf, die unter Umständen mehrfach wiederholt werden muss, bis die Ueberhäutung eine vollkommene ist. Recidive sind nicht häufig und können leicht repariert werden. Das Verhalten der Geschwüre ist verschieden. Einzelne gehen bei hartem Rohr langsam zurück, ohne dass irgendwelche auffallende Erscheinungen auftreten, sie heilen unter Krustenbildung ab. Am deutlichsten ist der Heilungsvorgang unter Reaktion nach weichem Rohr: Erythem, in der Umgebung starke Eiterung, lebhafte Granulation, allmähliche Abtrocknung unter langsamer Ueberhäutung, Ausgleichung von Niveaudepressionen, Verbesserung von narbigen Verzerrungen der Haut, Selbstkorrektur stärkeren oder schwächeren Grades von Ektropium.

15. Sonstige Affektionen: Scholtz u. a. behandelten Mycosis fungoides unter Nekrotisierung des Gewebes, wobei ausgedehnte Tumoren zum dauernden Verschwinden kamen. Desgleichen soll Hautsarcom günstig beeinflusst worden sein. Bei Lepra zeigte sich

zwar eine histologische Veränderung, aber keine Heilung. Gute Erfahrungen liegen auch vor bei varikösen Geschwüren, bei Mal perforant, bei elephantiastischen Verdickungen der Haut, Warzenbildung, bei Naevi spili, bei Urticaria pigmentosa. (Referiert nach Freund.)

16. Bei Carcinom wurden von bedeutenden Fachleuten Beeinflussungen durch Röntgenstrahlen gemeldet. Einzelne Autoren melden sogar direkte Heilungen. Auch bei Sarcom scheint in manchen Fällen eine vorübergehende Rückbildung stattzufinden. Doch sind alle die gemeldeten Resultate nicht als Heilungen zu betrachten, und manchen Behauptungen gegenüber muss man wohl sehr vorsichtig sein. Jedenfalls aber darf man heute nicht mehr als unwissenschaftlich gelten, wenn man die Behandlung eines Carcinoms oder Sarcoms mit Röntgenstrahlen unternimmt, besonders in Fällen, wo das Messer des Chirurgen bereits versagt hat. Vielfach lässt sich thatsächlich wenigstens eine Verminderung event. sogar vollständiges Verschwinden der Schmerzen für kürzere oder längere Zeit beobachten. Allerdings kommen auch hier Versager vor. Bei tiefer liegenden Carcinomen hartes Rohr, bei exulcerierten, oberflächlichen hartes oder weiches, im letzteren Falle bis zur Erzielung einer Reaktion zwecks Nekrotisierung der kranken Partieen. Bei Mamma-Carcinom konnte ich selbst Abblassung und Rückbildung der metastatischen Knötchen in der Umgebung der Narben erzielen, sowie Verschwinden der vorher lebhaften Schmerzen.

Neuralgie der verschiedensten Art kann auf Bestrahlung (mit hartem Rohr) unter Schmerzennachlass reagieren. Doch sind Ausnahmefälle nicht selten. Auch rheumatische Schmerzen, sowie die durch Rheumatismus bedingten Schwellungen können auf Röntgenbestrahlung zurückgehen.

Die Knochen- und Gelenktuberkulose ist mehrfach Angriffspunkt der Behandlung gewesen, und werden direkte Heilungen gemeldet.

Auch die Konsolidation von langsam verheilenden Knochenbrüchen soll durch die Behandlung günstig angeregt werden. Desgleichen wird eine Heilung von eitriger Osteoperiostitis gemeldet.

Die Beeinflussung der Lungentuberkulose durch Röntgenstrahlen wurde ebenfalls mehrfach versucht; doch müssen die Berichte von Besserungen und Heilungen mit grösster Skepsis betrachtet werden. Von einer baktericiden Wirkung der Röntgenstrahlen in der Tiefe ist gar keine Rede. Nebenbei erwähnt

wird die von einigen Autoren als sicher angenommene bakterientötende Eigenschaft der Röntgenstrahlen geleugnet. Jedenfalls bewegen wir uns bei all den letztgenannten Krankheiten noch auf dem Gebiete des Problems, **im Gegensatz zu den in No. 1—15 aufgezählten Affektionen, bei denen die Röntgenbehandlung ihre Existenzberechtigung sicher erwiesen hat.**

ANHANG.

Das photographische Verfahren.

Von

Ing. Friedr. Dessauer.

Es handelt sich nicht darum, im Nachfolgenden, wie bei der Erläuterung der technischen Grundlagen, eine gewissenhafte Darstellung der Vorgänge auf der Platte zu geben, es soll vielmehr dieser Anhang insbesondere für den Anfänger eine kurze Anleitung sein, wie man entwickelt und die Bilder taxiert, im Anschluss an den von Kraft bearbeiteten Teil des Kap. 1 des II. Teiles.

1) Die Schichtträger.

Die zur Röntgenaufnahme dienende photographische Platte besitzt eine spezielle Emulsion (empfindliche Schicht), deren Zusammensetzung geheim gehalten wird. Die empfindlichsten Röntgenplatten entstammen der Trockenplattenfabrik A.-G. vorm. Dr. Schleussner Frankfurt a. M. Die Empfindlichkeit dieser Platten überwiegt weit die aller anderen, und trotz aller Versuche ist es nicht gelungen, ihnen in dieser Beziehung gleich zu kommen.

In zweiter Linie sind die Röntgenplatten von Lumière, Westendorp & Wehner, Perutz, zu erwähnen.

Als Schichtträger dient statt der Glasplatte auch eine Celluloid-Folie; solche dünnen, leichtbeweglichen und unzerbrechlichen Schichtträger, sogenannte Films, werden zu speziellen Aufnahmen — Zähne, Kiefer — benutzt. Sie sind stets weniger reaktionsfähig, weniger empfindlich für Röntgenstrahlen und man verlässt sie mehr und mehr.

Die X-Strahlen werden in der Schicht nur zum geringen Teile absorbiert. Nur die absorbierten Strahlen aber bringen eine chemische

Reaktion hervor, die dann zur Bilddarstellung dient. Es lag also der Gedanke nahe, die Schicht möglichst dick zu machen.

Früher wurde nach einem Patente von Dr. Max Levy die Platte auf beiden Seiten mit empfindlicher Schicht belegt, doppelseitig emulsioniert. Dasselbe Bild sollte auf beiden Seiten entstehen. Wegen der relativ beträchtlichen Dicke und Undurchlässigkeit des Glases für X-Strahlen hat sich diese „Röntgenplatte" indessen nicht bewährt.

Dr. Schleussner emulsioniert einseitig mit doppelter, d. h. extra dicker Schicht, und die so hergestellten Platten sind die empfindlichsten, da sich die Projektionen der einzelnen übereinanderlagernden Schichttiefen verstärken.

Es ergiebt sich aber zugleich als Regel für die Entwicklung derartig dick emulsionierter Platten, dass man sie sehr viel länger dem Entwickler aussetzen muss, als gewöhnliche Platten. Es muss so lange die Hervorrufungs-Flüssigkeit auf die Platte wirken, bis die tiefsten Schichtteile genügend durch sie alteriert sind, bis auch die minder belichteten Teile deutlich auf der Rückseite (Glasseite) der Platte sichtbar sind. Das kann, je nach der Art des Objektes, dem Charakter der Röhre, ihrem Abstand, der Bildhelligkeit, der Art und Concentration des Entwicklers; Expositionsdauer sehr verschieden dauern, bis zu $^1/_2$ Stunde beim Becken eines Erwachsenen.

Die Platten werden zur Aufnahme entweder in besonders konstruierte Kassetten gelegt (siehe Kraft, d. Buch II, Kap. I) oder einzeln in schwarzes Papier gepackt. Die Anordnung des Objektes, der Platte und Röhre ist im Teil II, Kap. I von Kraft dargelegt.

Mit Rücksicht auf die folgende Entwicklung merke man sich, dass weiche Röhre, genügende Exposition bei mässiger Röhrenbelastung und vollkommene Ruhe des durch Sandsäcke oder Blende oder beides fixierten Objektes die Grundbedingungen für jede Aufnahme sind. Je dünner das Objekt, desto geringer kann der Abstand gewählt werden, ohne dass die Verzeichnung der Randpartien sehr störend wirkt. Je näher man aber an die Platte mit der Röhre herangeht, desto besser wird das Bild, denn die Wirkung der X-Strahlen nimmt ab mit dem Quadrate der Entfernung.

2) Das Entwicklungszimmer.

Das Entwicklungszimmer hat wesentlich nur der einen Anforderung absoluter Lichtdichtigkeit zu genügen. Bei der abnormen Empfindlichkeit der Röntgenplatten genügt schon der kleinste durch einen Spalt eindringende Lichtstrahl unter Umständen, um alle unsere Mühe vergeblich zu machen.

Hat man ein eigenes, mit Wasserzufluss versehenes Entwicklungszimmer zur Verfügung, so ist dies natürlich besser, als die Entwicklung im Röntgenzimmer selbst. Unthunlich ist auch das Ausüben beider Funktionen im selben Raum keineswegs, wenn der Raum gut ventilierbar, der Apparat also vor Feuchtigkeit geschützt ist.

Der vielbeschäftigte Praktiker (vergl. l. c.) wird die Entwicklung der Negative meist nicht selbst vornehmen, sondern im Krankenkause einer intelligenten Schwester, sonst einem tüchtigen Photographen überlassen.

Das Dunkelzimmer ist durch rotes Licht, das auf Inaktivität geprüft ist, erleuchtet. Die geringste Spur chemischer Strahlen würde bei Verwendung der sehr empfindlichen Platten gefährlich sein. Man prüft die Qualität der roten Lichtquellen seines Lieferanten, indem man unter Ausschluss sonstigen Lichtes eine frische Platte einige Zeit dem roten Lichte aussetzt und sie dann gleichzeitig mit einer frisch aus dem Plattenpacket genommenen entwickelt. Zeigt sie sich wesentlich gegenüber der anderen verändert, so ist das Licht schlecht.

Zur Rotlichterzeugung kann man rote eingesetzte Fenster, Petroleumlampen mit sogenannten Rubincylindern, elektrisches Licht oder auch Kerzen in roten Laternen benutzen. Am besten ist elektrisches Licht, insbesondere wenn man Regulierschalter zur Einstellung des Helligkeitsgrades hat. Die anderen Arten künstlicher Beleuchtung verschlechtern die Luft zu sehr. Das Licht soll durchaus nicht spärlich sein, wenn es nur sicher unschädlich ist. Die Lichtquelle ist hoch angebracht und wirft ihren vollen Schein auf den Entwicklungstisch. Ein dazwischen angebrachter kleiner Tuchvorhang kann in den kritischen Momenten des Einlegens in die Verpackung und in die Entwicklungsschale vorgezogen werden.

3) Die Entwicklung.

Für die Entwicklung ist die erste Bedingung Reinlichkeit, die zweite Geduld. 3 Schalen enthalten die für den Prozess nötigen Flüssigkeiten. Gut ist ein sogenannter „Entwicklungstisch", der oben einen Zinkeinsatz hat, über dem die Wasserbrause angebracht wird, während der untere Einsatz des Tisches zur Aufnahme der Schale mit Fixierbad dient.

Die Schale mit Entwicklungsflüssigkeit steht obenauf. Sie kann aus Porzellan, Papiermaché, auch aus Glas sein. Für die Wässerungs- und Fixierschale ist Porzellan der Vorzug zu geben.

Die Grösse der Entwicklungsschale richtet sich nach der Plattengrösse — man wählt sie nur eben so gross, dass die Platte

auf dem Boden aufliegt, damit kein Entwickler verschwendet wird. Grössere Platten als solche vom Formate 24/30 werden nur selten verarbeitet.

Die grösste Gefahr der Unreinlichkeit liegt in der Zerstörung des Entwicklers durch Schmutz oder durch Spuren von Fixiernatron. Man reinigt die Entwicklungsschale vor Beginn der Arbeit sehr gründlich in fliessendem Wasser. Die Finger bringt man, insbesondere wenn man feuchte Hände besitzt, möglichst nicht in die Flüssigkeit, umsomehr, als die kaustischen Alkalien vieler Entwickler Haut und Nägel stark angreifen. Es giebt eigene Plattenhaken, mit denen man die Platte im Entwickler dirigiert.

Die geringste Spur Fixierbad genügt meist, um den Entwickler zu ruinieren. So kann es z. B. unter Umständen zur Ursache des Fehlschlagens aller Bemühungen hinreichend sein, dass man die aus dem Fixierbad kommende Hand am Handtuch trocknet, ohne sie vorher abgespült zu haben, und später gelegentlich nach Berührung derselben Stelle des Handtuches in den Entwickler greift. Daher kann jedesmaliges Abspülen nach Berührung irgend eines Bades nicht genug empfohlen werden.

Alle Entwickler sind gut, es kommt nur darauf an, dass man damit umzugehen weiss. Am wenigsten dürften die sehr energisch und rasch arbeitenden Entwickler (Brillant etc.) empfohlen werden und alle diejenigen, die zu Schleierbildung neigen.

Die Rodinalentwicklung ist eine der beliebtesten Arten. Nach Metzner benutzt man Rodinal und Wasser im Verhältnis 1 : 30 und setzt, weil Rodinal gegen Temperatur sehr empfindlich ist, bei mehr als 18° C. reichlich Bromkali in gesättigter Lösung (5—20 Tropfen) zu. Diese Entwicklung wird unter ständigem Bewegen der Schale solange fortgesetzt, bis die Rückseite der Platte kräftige Durchzeichnung giebt. Ist die Aufnahme mit weicher Röhre gemacht, so sind die unbedeckten Stellen der Platte gleichzeitig tiefdunkel und undurchsichtig.

Das ständige Bewegen der Platte beim Entwickeln kann man sich dadurch bequemer machen, dass man unter die Schale einen Bleistift legt und sie über diesem als Achse schwingen lässt.

Nicht jedes Leitungs- oder Quellenwasser ist zum Verdünnen des Rodinals, wie auch der anderen Entwickler gleich gut geeignet. Zwar wird man bei $^9/_{10}$ der Leitungen mit dem gewöhnlichen Wasser auskommen, gelegentlich wird aber ein Fall vorkommen,

wo man hier, d. h. nur beim Entwickler, destilliertes Wasser benutzen muss.

Dass der Entwickler die Platte gut überdecken muss, dass nicht durch Luftbläschen oder Staub einzelne Teile bedeckt werden und so in der Entwicklung zurückbleiben, dafür ist selbstverständlich zu sorgen.

Ein anderes gutes Entwicklungsrezept, das Glycin, soll nach der Anleitung von Pizzigelli, die sich auch Albers-Schönberg zu eigen macht, angegeben werden:

Lösung 1.		Lösung 2.	
Glycin	30,00	Natriumcarbonat	100,0
Natriumsulfit	100,00	Aq. dest.	1000,0
Natriumcarbonat	20.0		
Aq. dest.	1000		

zu gleichen Teilen.

Der Glycinentwickler hat vor allem den Vorzug einer schleierfreien zuverlässigen Bildhervorrufung und einer gewissen selbständigen Correktion der Expositionszeit. Ist eine Platte zu lange exponiert, so wird der Glycinentwickler sie nicht leicht verderben und dennoch bei einer zu kurz belichteten (unterexponierten) alles „herausholen", was irgend aus ihr gemacht werden kann.

Unter Standentwicklung versteht man die Methode, die Platten in sehr verdünnten Entwicklerlösungen langsam hervorzurufen, wobei man der fortwährenden Aufsicht natürlich entraten kann. Die Platten dürfen dabei in den Entwicklungsgefässen nicht liegen — da sich sonst leicht kleine, aus der Lösung gegangene Teilchen auf ihr festsetzen können, — sondern müssen stehend angeordnet sein. Hierzu dienen besondere Entwicklungsgefässe verschiedener Konstruktion. Empfehlenswert ist die Standentwicklung mit Glycin, bei der man je nach dem Grade der Verdünnung nach 2—4 stündigem Warten auf ein richtig hervorgerufenes Bild rechnen kann. Spezielle Vorschriften hierüber besitzt jeder Entwickler für sich.

4) Hilfsapparate.

In Konstruktionen für allerlei Hilfsapparate, wie automatische, elektrisch oder mechanisch angetriebene Schaukelapparate für die Entwicklungsschale, Spül- und Waschvorrichtungen, Entwicklungsgefässe etc., haben sich kleinere Erfindergeister reichlich bethätigt. Doch kann man wohl sagen, dass Einfachheit in diesen Dingen ratsam ist, denn besser werden die Bilder bei Anwendung all' dieser Apparate auch nicht. Im übrigen sei es dem Geschmacke jedes Einzelnen

überlassen, Anschaffung solchen Beiwerkes für wünschenswert zu erachten oder nicht.

Aus dem Entwickler gelangt die Platte ins Wasser, um zum erstenmale mit einem sanften Wasserstrahl — nicht einem, der die Emulsion herunterspült — gut abgespült zu werden. Dieses Abspülen, am besten mit Hilfe einer Brause ausgeübt, hat den Zweck, die Entwicklungsflüssigkeit abzuwaschen, die das Fixierbad sonst beeinträchtigen würde. Nach einer Minute solcher Reinigung etwa gelangt die Platte endlich in das Fixierbad. 5) Das Fixieren.

Durch Lösen des käuflichen Fixiersalzes (unterschwefligsaures Natrium) in Wasser bis zur Sättigung und durch Zusatz von ein wenig (1—2%) Säure (Citronen- oder Schwefelsäure) wird das saure Fixiersalz gewonnen. Hierin wird die Platte klar und gilt — was bei Röntgenplatten wohl zu beachten ist — auch dann noch nicht für ausfixiert, wenn die letzte Spur weisslicher Trübung auf der Glasseite und in der Durchsicht verschwunden ist. Vielmehr verbleibt sie noch 5 Minuten länger im Fixierbad und dann erst ist es gestattet, Tageslicht oder sonstiges aktinisches Licht in den Raum zu lassen.

Das Fixierbad kann, wenn es angesäuert ist, lange Zeit benutzt werden. Allmählich freilich verliert es an Kraft und muss durch Zusatz von frischem gekräftigt oder vollständig ersetzt werden. Die zunehmende Bräunung des Bades deutet dieses Altern an.

Die gebrauchten Entwickler können im Gegensatz zum Fixierbad nur wenig mehr benutzt werden, lassen sich aber immerhin, eventuell durch Zusatz konzentrierter Lösung, noch einige Male hintereinander benutzen. Offenes Stehen vertragen indessen die Entwicklungslösungen fast garnicht und büssen meist schon nach wenigen Stunden so sehr an Kraft ein, dass sie unbrauchbar erscheinen. Will man daher mehrere Platten mit wenig Verbrauch entwickeln, so hat es unmittelbar hintereinander zu geschehen. 6) Gebrauchte Lösungen.

Nach dem Fixieren beginnt das reichliche Auswaschen der Platten in fliessendem oder doch öfter gewechseltem Wasser während mehrerer Stunden. Nur sehr gut ausgewässerte Platten können auf Haltbarkeit Anspruch erheben oder nach dem unten angegebenen Verfahren verstärkt werden.

Das nunmehr fertige Negativ wird gegen eine mattweisse Fläche von gleichmässiger Beleuchtung gehalten, um es zu studieren. Sehr gut sind (vergl. Kraft) die zu diesem Zweck von Metzner und anderen angegebenen sogenannten „Lichtkästen“. 7) Das entwickelte Negativ.

Ein gut durchexponiertes, mit weicher Röhre belichtetes Negativ zeigt schöne Kontraste zwischen den Fleisch- und Knochenteilen und in den Knochenteilen selbst die feinste Strukturabtönung. Die „Brillanz", die tiefe Schwärzung der unbedeckten Teile, das hierdurch fast plastische Hervortreten der Knochen ist indessen nur (worauf Gocht zuerst hinwies) mit ganz wenig benutzten, mit ganz „jungen" Röhren erreichbar. Schon nach einigen Aufnahmen nimmt dieser tiefe Kontrast ab, ohne dass deswegen die gute Qualität des Bildes leidet. Aber die Aufnahmen, die mit so verblüffender Schwärzung uns auf so vielen Ausstellungen, von Seiten mancher Firmen und einzelner Röntgeninstitute ausgestellt, entgegenleuchten, sind, wenn sie nicht auf anderem Wege verbessert wurden, mit ganz jungen Röhren hergestellt.

War die Röhre ein wenig zu hart, so zeigt die Platte unweigerlich Schleierbildung infolge der Sekundärstrahlen, insbesondere finden wir diesen Schleier stets bei Beckenaufnahmen Erwachsener. Man sollte diese Aufnahmen daher nie ohne Blende machen. Etwas zu viel Schleier, insbesondere auch bei einigermassen zu langer Exposition (bei zu harter Röhre), macht unsere Mühe vergeblich.

Zu kurze Exposition, ein übrigens seltener Fehler, zeigt sich in der Platte durch Helligkeit, Durchsichtigkeit des ganzen Bildes, durch Strukturlosigkeit der Knochenteile an. Die Weichteile weisen dabei mehr Details auf. Die Platte sieht „glasig" aus.

Ueberexposition lässt bei weicher Röhre nur die Weichteilpartien mehr verschwinden, während die Knochenteile, wenn auch schon recht dunkel, immer noch viele Strukturdetails wiedergeben. War die Röhre indessen zu hart, so ist die Platte grau, ohne schöne Zeichnung, ohne entsprechende Schwärzung oder Deckung.

Es giebt Methoden, die „Brillanz" der Platte zu vergrössern, ihre Kontraste zu vermehren, einer unterexponierten Platte den Anschein einer reichlich exponierten zu geben. Manche Radiographen wenden eine dieser Methoden, die Verstärkung, bei allen Negativen an.

8) Die Verstärkung.

Die sehr gut gewässerte Platte wird in ein Bad (eigene Schale!) von in Wasser (halb gesättigt) gelöstem weissem Quecksilbersublimat (sehr giftig) gelegt und nimmt darin allmählich eine grau-bläuliche, dann immer weissere Färbung an. Je nach dem Grade der gewünschten Verstärkung lässt man diese Verfärbuug mehr oder weniger weit fortschreiten, achtet aber wohl darauf, dass das Bad alle Stellen der Platte gleichmässig und in gleicher Konzentration und fortwährender Bewegung überströmt. Dann wird das Sublimat,

das öfter benutzt werden kann, beseitigt und aufbewahrt, die Platte oberflächlich abgespült und kommt in ein Bad von Ammoniak oder altem Entwickler, in dem sie sich wieder schwärzt.

Die so behandelte Platte zeigt eine vermehrte Durchdeckung, erhöhten Kontrast, grössere Brillanz. Man kann freilich des Guten auch zuviel thun. Die Feinheit des Korns nimmt bei der Verstärkung ab.

9) Die Abschwächung.

Eine Möglichkeit, durch Ueberexposition mit weichen Röhren oder durch zu weitgehende Verstärkung allzu dicht gewordene Platten wieder zu reduzieren, ist das Abschwächeverfahren. Die sorgfältig gewaschene Platte kommt in ein Bad von Fixiernatron und rotem Blutlaugensalz, dessen Blutlaugensalzgehalt die Geschwindigkeit der Abschwächung bestimmt. Verstärkung und Abschwächung kann zur gegenseitigen Korrektur in beliebiger Reihenfolge wiederholt werden.

Mit dem Positivverfahren, dem Kopieren der Negative auf lichtempfindliches Papier, soll sich der Arzt nicht befassen. Das Verfahren ist zeitraubend und undankbar für den Ungeübten. Muss schon eine Kopie gemacht werden — und zum Studium eines Falles dient nur das Negativ —, so überlasse man dies einem tüchtigen Photographen, dem man gesagt hat, worauf es ankommt.

10) Umdruck- und Diapositivverfahren.

Zum Schlusse sei noch, nicht des Nachahmens, sondern der Kenntnis halber, einer Methode gedacht, aus schlechten oder mittelmässigen Negativen noch relativ „gute“ zu machen, des Umdruckverfahrens. Die zu verbessernde (unterbelichtete oder zu wenig entwickelte) Platte wird in der Dunkelkammer mit der Schichtseite auf die Schicht einer frischen Platte gelegt. Man lässt einen schwachen Lichtschein durch die belichtete Platte auf die Emulsion der unbelichteten fallen. Die so exponierte wird nach der Entwicklung kräftig verstärkt, ihr Bild ein zweitesmal in gleicher Weise auf eine dritte Platte übertragen, diese eventuell wieder verstärkt, und so fort, bis der gewünschte Grad von Brillanz erreicht ist.

Manche Autoren stellen von ihren besten Negativen verkleinerte Diapositve her, um diese eventuell mit Hilfe eines Projektionsapparates einem grösseren Zuschauerkreise zugänglich zu machen. Die Herstellung solcher Diapositive zu erläutern, kann aber nicht Zweck dieser Zeilen sein.

Druckfehler-Berichtigung.

Im physikalischen Teile sind leider zwei sinnstörende Druckfehler stehen geblieben:

pag. 37. Statt Rhümkorff fälschlicherweise Ruhmkorff und Rühmkorff;

pag. 49. Der Schlusssatz der unteren Anmerkung a) gehört in die obere 2) und findet auf der folgenden Seite seine Fortsetzung. Lies also:

$$\ldots\ldots A = A_1 - A_1^1 \ldots\ldots 2).$$

Von diesen Grössen ist der durch . . .

Sachregister.

A.

Abscess der Lunge 187.
Abschwächung 295.
Abstand der Röhren 120, 121, 125.
Abzweigwiderstand 110 ff.
Accumulator 16, 17, 102, 103, 104.
Achillodynie 270.
Acne vulgaris 283.
Aequivalente 17, 26, 32, 36.
Affectionen, sonstige 285.
Alopecia areata 282.
Altern der Röhren 116.
Ampère 15, 25.
Ampèremeter 86.
Ampèrezahl siehe Stromstärke.
Ampèrewindungen 31, 40.
Amplitude 22.
Aneurisma 189.
Ankylose des Hüftgelenkes 261.
Ankylosierende Entzündung der Wirbelsäule 241.
Anode 44.
Anordnung des Röntgenapparates 118, 125.
Ansprechen des Electrolyt-Unterbrechers 92.
Antikathode 44, 69.
Anwendung der Aufnahmeblende 133.
Anziehung, magnetische 27, 28.
Aortenband 128.
Aorteninsufficienz 189.
Arbeit, electrische 25.
Architekturveränderung der Knochen 228.
Arthropatia neurot. 185, 227.
Artritis chronica 184.
„ deformans 125, 227.
„ gonorrhoica 185.
Atrophie der Knochen 227.
Aufnahme 79.
Aufnahmeblende 131.
Aufnahmestuhl 199.
Aufnahmeverfahren 124.
Ausschalter siehe Schalter.

B.

Bariumplatincyanür 67, 119.
Bauch 234.
Becken 253.
Beleuchtungsapparate 90 (vergl. Anhang).

Betriebsspannung (siehe auch Spannung) 109.
Bildschärfe 74.
Blasensteine 136, 236.
Bleiblenden (Blendenverfahren) 186, 187, 201.
Blepharitis 282.
Bronchostenose 186.
Brust 234.
Brustwirbelsäule 134.

C.

Capacität 16.
Carcinom 241, 285.
Caverne 187.
Chemische Hilfsmethoden 126 (vergl. Anhang).
Chemische Wirksamkeit der X-Strahlen 56, 79.
Chondrom 223.
Chromoradiometer 273 ff.
Concremente 183.
Constanter Stromablauf 16.
Coxa vara 258.
Coxitis tuberculosa 259.

D.

Deckflüssigkeit der Unterbrecher 105.
Dermatitisbehandlung 278.
Deutung der Durchleuchtungsschatten 120.
Diapositive 164.
Dichtigkeitsunterschiede (Differenzirung der . .) 80.
Dielectricitätsconstante 47.
Dislocation 81.
Dislocation des Herzens 189.
Dissociationstheorie 66 ff.
Dosierungsmethoden 276.
Dreiphasenstrom 24.
Drosselröhre 115 ff.
Drosselwirkung des Electrolyt-Unterbrechers 95.
Drosselwirkung des Boas-Unterbrechers 95, 96.
Durchdringungsfähigkeit 55, 71, 79, 114 ff.
Durchleuchtung des Hüftgelenkes 141.
Durchleuchtungsblende 138.
Durchleuchtungsschatten 120.
Durchleuchtung, stereoscopische 169.
Durchleuchtungsverfahren 79, 81, 117, 119 ff.

E.

Eczem 283.
Effectivgrössen des Wechselstromes s. Wertstrom.
Eigenschaften des Stromes 14.
Einschalter s. Schalter.
Einstellung b. d. Durchleuchtung 221.
Eisenkern 31, 39, 42, 105, 107.
Electricitätsmenge 46.
Electrisirmaschinen 43.
Electrodynamik 14.
Electrolyt 16.
Electrolytischer Unterbrecher 54 siehe Unterbrecher.
Electromagnet 27, 45.
Electrostatik 13.
Ellenbogen 204.
Enchondrom 224, 255.
Energie 13, 25.
Entwicklung 290.

Entwicklungszimmer 289.
Exostose 223, 255.
Expositionszeiten 125.
Extrastrom 39, 46, 107.
Extremität obere 242.
„ untere 253.

F.

Favus 282.
Feldstärke s. Kraftfeld.
Fixieren 293.
Fluorescenzlicht 118.
Focus / Focusröhre } 69.
Folliculitis barbae 281.
Frakturen: des Beckens 255.
„ der Carpalknochen 250.
„ des Ellenbogen 248.
„ der Epiphysen 245.
„ des Femur 262.
„ des Humerus 247.
„ des Kehlkopfs 232.
„ der Metacarpalknochen 251.
„ der Patella 266.
„ der Rippen 235.
„ d. Schädelknochen 232.
„ des Schlüsselbeins 235.
„ der Schulter 243.
„ der Tarsalknochen 263.
„ des Trochanter major 255.
„ des Unterschenkels 267.
„ des Vorderarms 249.
„ des Zungenbeins 239.
Fremdkörper 220, 233, 235, 236.
Frequenz 20, 43, 59, 60, 61, 102, 112.
Funkeninduktor s. Rhümkorff.
Funkenlänge s. Schlagweite.
Fuss 213.

G.

Gallenstein 135, 236.
Gangrän der Lunge 187.
Gasabscess 183.
Gelenkmäuse 265.
Gicht 184.
Glasstrahlen 130.
Gleichstrombetrieb 93.
Gumma 184, 241.

H.

Härtegrad der Röhre 72.
Halbleiter 16.
Hals 230.
Halsrippe 234.
Halswirbelsäule 135.
Hand 207.
Handregel 29.
Herpes tonsurans 282.
Hilfsapparate 292.
Hüftgelenk 210.
„ angeborene Luxation des 256.
Humerus 204.
Hypertrichosis 280.
Hysteresis 31, 53, 86.

I. J.

Impedanz 41.
Inconstante Ströme 18.
Induktion 33, 34 ff., 48 ff., 100, 101, 103.
Induktion, Differenz zwischen Schliessungs- und Oeffnungs-Induktion 47, 48, 53 ff., 55 ff.
Induktionsarbeit 35, 115.

Induktionsspannung 34.
Induktor 37, 38, 61, 64, 105.
Intensität s. Stromstärke.
Ion 17.
Irisblende 137.
Isolatoren 15, 16.
Isolierungen 88, 89.
Joule'sches Gesetz 26, 38.

K.

Kathode 44.
Kathodenlicht 271.
Kathodenstrahlen 44, 66.
Kieferhöhleneiterung 233.
Knie 211, 265.
Knochenatrophie 185.
Knochenkerne 248.
Kompressionsblende 129, 132 ff.
Koncentration (Widerstand des Electrolyt) 16.
Kondensator 46, 47.
Kontaktdauer 107.
Kontraktur des Hüftgelenkes 261.
Kopf 230.
Kraftfeld, Kraftlinien, Kraftlinienzahl } 27, 28, 33, 45, 48, 54 ff., 92.
Kreuzbein 135.
Kriterium der Regulierung 106, 112.
Kropf 233.
Kryptoscop 174.
Kupfergewicht 37, 43.
Kurven von Strömen 19, 21 ff, 44.
„ des Induktionsstromes 44, 48.
„ des Primärstromes 44, 45, 60.

L.

Laboratorium 119, s. a. Anhang.
Ladung 13, 46.
Lampenstellung 195.
Leitvermögen 15.
Lendenwirbelsäule 134.
Leuchtschirm 119, s. a. Bariumplatincyanür.
Lösungen, gebrauchte 293.
Lues 184, 187, 226.
Luftstrahlen 130.
Lunge 185.
Lupus 284.
Luxation im Bereich d. tarsus 269.
„ der Carpalknochen 251.
„ des Daumens 252.
„ d. Ellenbogengelenks 248.
„ habituelle 246.
„ des humerus 245.
„ der Wirbel 238.

M.

Magnetische Trägheit s. Hysteresis.
Magnetische Wirkung des Stromes 27, 28 ff.
Magnetismus 27, 28 ff.
Mediastinum 185, 190.
Mehrphasenströme 24.
Messinstrumente 85, 86.
Milliampère 37.
Mitralinsufficienz 189.
Motorunterbrecher 91, 103, s. a. Unterbrecher.
Myositis ossificans 224.

N.

Naevus 284.
Negativ, entwickelt 293.
Neubildungen des Beckens 255.

Neuralgie 286.
Nierensteine 135, 236.
Nomenclatur, radiologische 196.
Nordpol s. Pol.

O.

Oberschenkelgeschwülste 264.
Oeffnungsinduktion s. Induktion.
Oeffnungsselbstinduktion s. Extrastrom.
Oeffnungsspannung s. Schlagweite.
} 55, 56 ff.
Oekonomie 36.
Oesophagus 190, 235.
Ohm 14, 15.
Ohmsches Gesetz 15, 41.
Orthodiagraphie 142, 149.
Orthodiagraph n. Boas-Grunmach 145.
„ Moritz 146.
„ Hoffmann 147.
„ Levy-Dörn 145.
Os intermedium cruris 269.
Osteochondritis 184.
Osteomalacie 184, 224.
Osteomyelitis 225, 247.
Osteomyelitis des Femur 263.
„ der Tibia 267.
„ der Wirbel 240.
Ostitis luetica 184.

P.

Parallelschaltung 17, 110.
Periode 20.
Periodenzahl 20, 21.
Periostitis luetica 184.
Phase 22, 60.
Phasenverschiebung 23, 24, 42.
Phocomelie 264.
Photographie s. Anhang 117 ff., 124.
Phthisis 187.
Platinunterbrecher s. Unterbrecher.
Plattenformate 193.
Pleura 187.
Pneumothorax 187/188.
Pol, Polarität 16, 27 f., 32, 83.
Pole d. Induktoriums, Erkennung der 117.
Polydaktylie 253.
Potential 14.
Potentialunterschied 14, 17.
Projektion 68.
Phrophylaxe s. Schutz.
Prurigo 283.
Pseudarthrose 247.
Psoriasis 283.
Pulsierender Strom 21.

Q.

Quecksilber-Unterbrecher s. Unterbrecher.

R.

Radioscopie 81.
Regenerierverfahren 72, 73, 114.
Regulierung d. R.-App. 58, 101 ff., 106 ff., 109, 112.
Regulierung der Unterbrecher 93 s. a. Unterbrecher.
Regulierverfahren (bei den Röhren) 73, 74.
Reibungselectricität 13.
Reitknochen 262.
Rhachitis 184, 227.
Rhümkorff 37, 61, 64.

Richtung des Stromes 18, 21.
Röhrenknochen (lange) 204.
Röhrenqualität 72, 124.
Röhrenwahl 137.
Röntgenapparat, transportabler 171.
Röntgenröhre 64, 68 ff., 113 ff., 119, 124.

S.

Sättigung, magnetische 31/42.
Sarkom 224, 241, 246, 247, 255.
Schalter 85.
Schaltschema 83/89 ff., 113.
Schichtträger 287.
Schirmuntersuchung bei Fremdkörpern 221.
Schlagweite s. a. Windungszahl 53, 56, 57, 108, 113.
Schleier 79.
Schliessungsinduktion s. Induktion 70, 115.
Schliessungsinduktionserscheinungen 116.
Schliessungs - Selbstinduktion s. Extrastrom.
Schulter 199, 242.
Schulterblatt, angeborener Hochstand des 243.
Schultergelenkserkrankung 246.
Schussfrakturen 216.
Schutz gegen X-Strahlen 121, 274.
Scoliosen 241.
Seborrhoea capit. 283.
Sekundärstrahlen 67, 69, 80, 128 ff.
Sekundärstrom oder Induktionsstrom 34, 37, 48.
Selbstinduktion 39.
Selbstinduktionscoefficient 40, 54, 55, 107 ff.
Sequester 226.
Serienschaltung 17.
Sicherung 87.
„ doppelpolig 88.
Sinusoidal 20.
Situs inversus 189, 191.
Solenoid 29.
Spannung 14, 15, 16, 18, 107, 109, 110.
Spannung des Induktionsstromes 34.
Spannungsmesser siehe Messinstrumente.
Spina bifida 242.
„ ventosa 252.
Spondylitis traumatica 240.
„ tuberculosa 240.
Stärke des Stromes (Intensität) 14, 22, 56, 104, 105 ff., 111.
Stereoscop. Apparate 161.
Stereoscopisches Sehen 163.
Stereoscopisches Verfahren 156 ff.
Stirnhöhleneiterung 231.
Stroboscop 170.
Strommesser s. Messinstrumente.
Stromquellen d. R.-A. 90 ff., 100 ff.
Stromverlauf im R.-A. 83 s. a. Kurve.
Sykosis 281.
Synchron-Unterbrecher 95, 96.
Syndaktylie 253.

T.

Trachea 186.
Transformation 36, 37.
Transformator 98, 173.
Tricuspidalinsufficienz 189.

Trommelschlägelfinger 252.
Tuberculose der Knochen und Gelenke 224, 286.
Tuberculose des Handgelenks 252.
„ „ Hüftgelenks 259.
„ „ Kniegelenks 265.
„ der Lungen 286.
„ des Schultergelenks 246.
Turbinenunterbrecher s. Unterbrecher 95.

U.

Ulcus rodens 285.
Umdruck- u. Diapositivverfahren 295.
Umformer 99, 113.
Unterbrecher 58, 59, 90, 91 ff., 95, 103, 105, 171.
Unterbrechungsinduktion s. Induktion.

V.

Vacuum 43, 65 ff.
Ventilröhre s. Drosselröhre.
Verbandesvorschriften über Konstruktion des Apparats 88.
Verdunklung 118 u. Anhang.
Verkrümmung, rhachitische, der Oberschenkeldiaphyse 264.
Verkrümmung der Unterschenkel 266.
Verletzungen der Wirbelsäule 238
Verstärkung 294.
Volt 14.
Voltabschalter 110.
Voltampère 26.
Voltmeter 86/87.

W.

Wärmewirkung des Stromes 26.
Walterschaltung 108, 109.
Watt 26.
Wechselströme 18, 20, 21 ff., 94, 95 ff.
Wechselstrombetrieb 62 ff., 94 ff., 96, 98.
Wechselzahl 20.
Wertstrom, Wertspannung 23.
Widerstand 14, 17, 56, 57.
Widerstand, innerer 17.
Wiedergabeverfahren 81, 82, 117.
Windungszahl 34, 35, 39, 49, 105, 107, 113, 114.
Wirbelkörperfraktur 239.
Wirbelsäule 238.
Wirbelströme 38.
Wirkungen der X-Strahlen 274.

Z.

Zahnheilkunde 232.
Zellenanzahl der Accumulatoren 104.
Zentralprojection 68.
Zwergfellhernie 183, 191.

Druck von J. S. Preuss, Berlin S.W.

COUNTWAY LIBRARY OF MEDICINE

QC
481
D47

RARE BOOKS DEPARTMENT